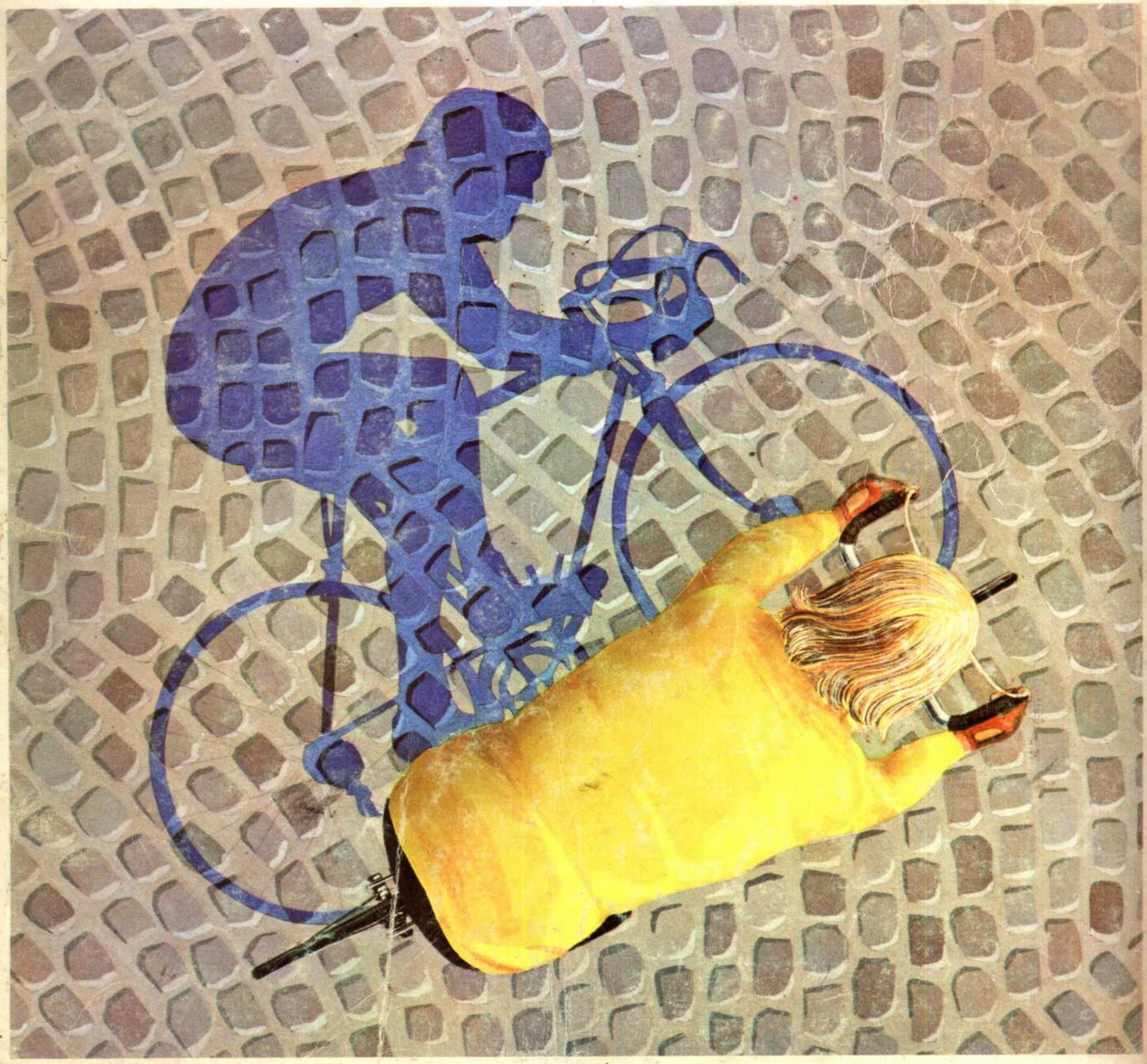
MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

DE EDITORIAL FONTALBA

Nº 10
MENSUAL
300 Ptas.

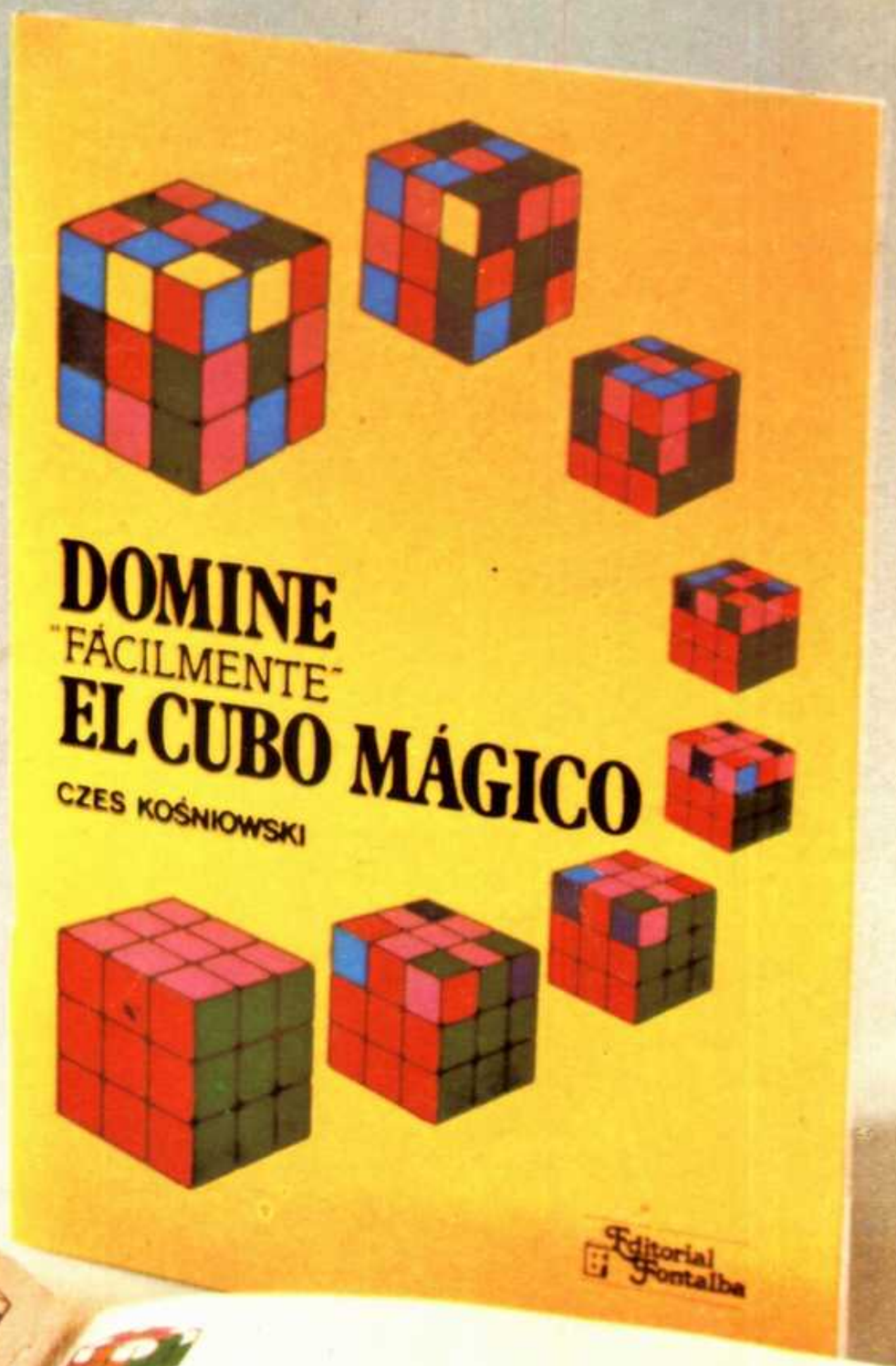
La bicicleta ● La proliferación nuclear
Fisiología de la inmersión
Los cromosomas de los primates
Los biotransistores ● Las supermoléculas

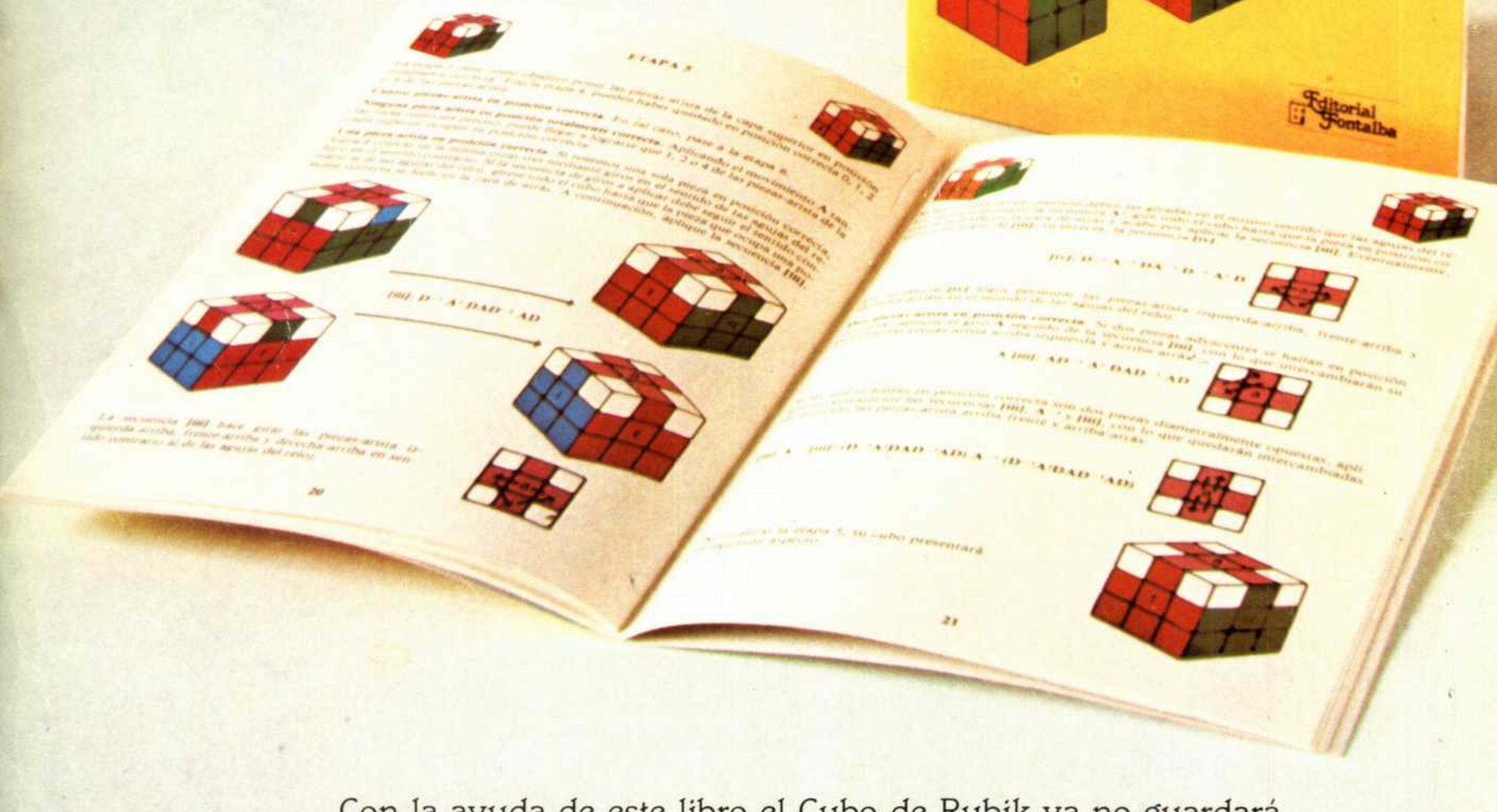


ISSN 0211-3058

DOMINE
"FÁCILMENTE"
EL CUBO MÁGICO

CZES KOŚNIOWSKI





Con la ayuda de este libro el Cubo de Rubik ya no guardará misterios para Ud. Ofrece la solución fundamental para el cubo y presenta métodos para la resolución de las nuevas formas.

De venta en quioscos. P.V.P.: 190 Ptas.

Editorial Fontalba
Valencia, 359
Barcelona-9

MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

N.º 10

Nuestra portada:

¿Cómo mantener el equilibrio sobre una bicicleta? Jean Pierre Vieren demuestra en su artículo, página 4, que no es fácil responder a esta cuestión.
Efectivamente, por su extrema simplicidad y su casi perfección, la bicicleta desafía el análisis de los científicos. (Ilustración Tony Corsin.)

4 **LA BICICLETA,** por Jean-Pierre Vieren.
Este maravilloso ingenio, concebido de forma muy empirica, plantea más de un desafío a las investigaciones. Aun tras numerosos experimentos (y hasta con recurso al ordenador), su funcionamiento no ha sido totalmente elucidado.

15 **LAS ESTRELLAS DE GRAN MASA,** por James Lequeux.
Los astrónomos observan estrellas masivas y muy luminosas que, según la teoria clásica, no deberían existir. ¿Cómo explicar este fenómeno?

20 **LA QUÍMICA SUPRAMOLECULAR,** por Jean-Marie Lehn.
Clásicamente un compuesto químico se elabora enlazando átomos para formar moléculas. En la química supramolecular, se crean nuevas entidades, las supermoléculas, al asociar ya no átomos sino las mismas moléculas. ¿Cómo se logran estas asociaciones moleculares? ¿Para qué sirven?

32 **EL CERN,** por Pedro Pascual.
Los orígenes y actividades del CERN. ¿Tiene interés para España entrar de nuevo en el CERN? ¿Quedan justificados los gastos que conlleva?

38 **LOS LÁSERES DE SEMICONDUCTORES,** por Jean-Pierre Noblanc.
Los láseres de semiconductores ya no son curiosidades de laboratorio. Ofrecen perspectivas de aplicaciones considerables en el campo del tratamiento de las señales ópticas y eléctricas.

47 **¿TIENE «SEXO» EL SISTEMA NERVIOSO?,** por Mari-Claire Levasseur y Catherine Allais.
El estudio meticuloso de la acción de las hormonas demuestra hoy día que la feminización del cerebro no es tan irreversible como se podría creer.

52 **LOS CROMOSOMAS DE LOS PRIMATES,** por Bernard Dutrillaux.
Ya se conoce la evolución de los cromosomas en el grupo de los primates, lo cual permite reconstruir el árbol genealógico de los más lejanos antecesores del hombre.

64 **DOSSIER: LA ENERGÍA NUCLEAR, TAMBIÉN UN PASO HACIA LA BOMBA,** por Martine Barrère.
Abundan las instalaciones nucleares «pacíficas» dispersas por todo el mundo. De lo pacífico a lo militar no hay más que un paso... que muchos países están dispuestos a dar.

77 **AUTOMÓVILES: CARRERA PARA ECONOMIZAR GASOLINA,** por Marie Bulher.
Con dos prototipos denominados EVE y VERA, la Renault y la Peugeot han llegado a reducir el consumo de gasolina en más de un 25 %. ¿Para cuándo estarán a punto los automóviles económicos producidos en serie?

84 **EL ENCUENTRO DEL VOYAGER 2 CON SATURNO,** por André Brahic.
Este planeta, que se explora por tercera vez, no ha terminado de sorprendernos. Voyager 2 nos revela aún resultados inesperados.

88 **EL VIDEOTEX: IMÁGENES EN DOS HILOS,** por Alain Poignet.
La transmisión de textos y diseños por la red del teléfono ofrece múltiples posibilidades técnicas, industriales y hasta culturales.

91 **LOS BIOTRANSISTORES: LA MICROELECTRÓNICA DEL SIGLO XXI,** por Joël de Rosnay.
La introducción de materiales moleculares en la microelectrónica debería permitir alcanzar una hiperminiaturización de los circuitos, irrealizable con los cristales clásicos.

94 **LA FISIOLOGÍA DE LA INMERSIÓN,** por Maurice Hugon.
Hoy el hombre ha logrado ser perfectamente operacional hasta profundidades de 300 y 400 metros. ¿Permitirán las investigaciones actuales superar las dificultades biológicas de las cotas más bajas?

80 **Informaciones y noticias**
104 **Ciencia y política**
106 **Libros**
111 **Publicaciones recibidas**
112 **Manifestaciones científicas**
113 **Sumario inglés**

La prensa ve aumentar continuamente los costos de papel, impresión y encuadernación. Por esta razón, y muy a pesar nuestro, nos vemos obligados a fijar el precio del ejemplar en 300 pesetas y la suscripción en 3 000 pesetas a partir del presente número.

La bicicleta

por Jean-Pierre Vieren

Jean Pierre Vieren es corredor ciclista aficionado. También es ingeniero del CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) y trabaja en el laboratorio de física de l'Ecole Normale Supérieure.

■ Nacida hacia 1885, derivada del velocípedo, la bicicleta vuelve a estar de moda. Probablemente, el origen de esta nueva oleada de interés haya que buscarlo más en la voluntad de descubrir el misterio de su estabilidad y en el placer de pasear en bicicleta que en la economización de energía o en el espíritu de competición. La bicicleta actual es el fruto de la ingeniosidad y de las investigaciones empíricas de muchos constructores y usuarios. Por su gran simplicidad y casi perfección, desafía los análisis de los científicos.

■ La bicicleta tiene cien años y no lo parece. Símbolo de juventud y libertad, se diría que renace sin cesar. No duda en rivalizar, por ejemplo, con el todopoderoso automóvil, su gran enemigo, nacido como la bicicleta a finales del siglo XIX, bajo los cielos de la sociedad industrial moderna. En el origen del velocípedo, se encuentran nombres de fabricantes de prestigiosos automóviles de la época como Peugeot, Clément, Terrot, Hillmann, Olds, Morris, Rover, Daimler, Benz... Hoy en día, la bicicleta representa la antítesis del juguete ideal para la sociedad de consumo, ya que con un mantenimiento adecuado puede servir a muchas generaciones por un módico precio, recorriendo 300 000 km o incluso más. La marca Renault, Peugeot por supuesto, e incluso Porsche invierten de nuevo en la «máquina de dos ruedas», cuya producción mundial ronda los cincuenta millones de unidades al año. En Francia, en la década de los setenta se han vendido veinte millones de unidades.

Pero ¿no será una causa de esta feliz longevidad el hecho de que todos nosotros, sin excepción, la queremos? Nosotros, los niños orgullosos de haberla conquistado; nosotros, los menos jóvenes, para mantener el corazón en forma; nosotros, los que gustamos del comer, porque nos ayuda a adelgazar; nosotros, los gigantes de la carretera, o sus admiradores; nosotros, los aficionados a economizar energía o los amantes del aire puro; e incluso nosotros, los científicos, intrigados por la simplicidad de su tecnología, por su gran eficiencia y por las sutilezas de su equilibrio. Recientemente, numerosos investigadores han intentado analizar la bicicleta, como para festejar el aniversario de esta centenaria todavía en forma; en realidad, no tanto para transformarla radicalmente, al menos de momento, pero sí para conocerla mejor, sea desde el punto de vista de su historia, sea del que concierne a su rendimiento energético y a su estabilidad.

Historia de un mito

Aunque el invento de la rueda se remonte a unos 5 000 años, es difícil situar los orígenes de la bicicleta antes de 1800. El celerífero (antecesor de la bicicleta), data de principios del siglo XIX y fue sensiblemente mejorado por el famoso Karl Friedrich von Drais, barón von Sauerbronn, quien inventó la rueda delantera orientable, según atestigua una patente de cinco años instada en París en 1818, dando así nacimiento a la no menos célebre Draisienne, una especie de bicicleta sin pedales (fig. 1). Pero, de hecho, la historia del velocípedo no empieza realmente hasta 1860, cuando dos carreteros parisinos, Pierre y Ernest Michaux, tuvieron la idea de fijar dos pedales sobre la rueda delantera de una Draisienne, haciéndola así mucho más móvil, ya que hasta entonces había que empujar apoyando los pies contra el suelo (fig. 1). No obstante, esta mejora resultó insuficiente: el impulso directo sobre la rueda delantera limitaba demasiado la velocidad del aparato. Con una rueda de un metro de diámetro se obtenía un desarrollo de 3 metros, con lo que efectuando 30 vueltas de pedal por minuto apenas se conseguía una velocidad de 5 km/h. Es decir, que caminando se iba tan deprisa como Michaux con su aparato. Está claro que se pensó en agrandar la rueda delantera motriz, y surgió así la «gran Bi» (James Starley, William Hillman, Adolphe Clément), que no era mucho más rápida y sí, en cambio, bastante inestable y con problemas técnicos en la fabricación de los radios de la rueda (fig. 1).

El principal invento para el lanzamiento de la bicicleta fue la transmisión por cadena, el plato y el piñón. Fue obra de Harry J. Lawson (1879), mejorada por Hans Renold (1880). En lo sucesivo los acontecimientos se desarrollaron con suma rapidez, pues todos los detalles técnicos de la bicicleta actual fueron patentados antes del año 1900: la dinamo en 1880, el ciclomotor en 1885

Figura 1. **Cuatro parientes próximos de la actual bicicleta. La rueda anterior móvil fue inventada por el barón von Drais** (A) **y los pedales por P. y E. Michaux** (B). **Clément encontró una estética solución al problema de los radios que planteaba la gran Bi** (C). **La bicicleta de J.D. Starley, dotada ya de ruedas con cojinetes y radios cruzados, con transmisión por cadena y buen sillín, no tiene el aire de haber nacido en 1885** (D).

A

B

(Daimler y Benz), los neumáticos hacia 1890 (John Dunlop, veterinario de Belfast, que en cinco años se hizo millonario), el freno de disco en 1894, el tensor de cambio y la rueda libre en 1899. El peso de un biciclo Rudge de 1884 apenas superaba los 10 kg, y la bicicleta de J.K. Starley de 1885, actualmente en el museo de Londres, no sorprendería a nadie si hoy día se sacara a la calle, pues su aspecto es muy parecido al de una bicicleta moderna: lleva ruedas con cojinetes y radios cruzados, transmisión por cadena y un sillín de cuero provisto de una suspensión muy lograda.

Así, en el alba del siglo XX, la bicicleta había alcanzado la edad adulta y adquirido su forma definitiva. Los progresos posteriores han sido mínimos y se deben, sobre todo, a la racionalización de las técnicas de producción. Pero, al contrario de lo que sucedió con el automóvil o la aviación, estos progresos han repercutido muy poco en la estructura del producto. Ciertamente, la bicicleta adquirió rápidamente una calidad técnica muy aceptable para su gran simplicidad, característica muy de moda en nuestros días. En cuanto a las razones que han convertido a la bicicleta en uno de los símbolos actuales de la libertad y la paz, todos recordamos algunos sucesos o imágenes que citaremos al azar: hacia 1880, la reina Victoria compró un triciclo, lo que, según se dice, incitó a las mujeres inglesas a salir de sus casas. En 1936, las vacaciones pagadas se empezaban frecuentemente con bicicleta. Hasta hace poco tiempo, el cartero y el gendarme hacían su ronda en bicicleta. En bicicleta iban, en fin, los combatientes vietnamitas cuando avanzaban hacia su liberación. Así pues, la «dos ruedas», que viene a ser una especie de transporte mínimo, está bien enraizada en las sociedades actuales, sea cual sea el nivel de complejidad de su tecnología.

Menos fatigoso que otros

Mal que pese a los ciclistas enrojecidos que en verano suben por las cuestas de las carreteras, la bicicleta es un medio de transporte de gran rendimiento energético, y éste es uno de los aspectos más interesantes para el científico. La energía que un individuo, un animal o un vehículo gasta para desplazarse depende de la velocidad con que lo hace, cuestión que trataremos más adelante con detalle; bástenos ahora comparar[1,2] esos movimientos respectivos a su velocidad media habitual. Los menos eficaces por kilómetro y por gramo transportado son, sin duda, la serpiente, el ratón y la mosca. Después vienen el conejo y el helicóptero, el avión, el hombre a pie, el caballo, el automóvil y el salmón. El ciclista gasta cinco veces menos energía (0,15 calorías por gramo y kilómetro) que el caminante (0,75 cal/g.km) y, en cuanto al índice energético, sólo puede competir con él el tren sobre raíles. ¿Por qué? Consideremos qué potencia es capaz de proporcionar la máquina humana y cómo se utiliza.

Indiscutiblemente, el hombre obtiene la energía de su alimentación, y el rendimiento de sus músculos, que oscila entre el 20 y el 30 %, dependiendo del tipo de esfuerzo realizado y del entrenamiento del individuo en cuestión. Cuando se ejerce lentamente una gran fuerza contra una fuerte resistencia (el remo y la halterofilia serían dos buenos ejemplos) o cuando se ejerce rápidamente una pequeña fuerza sin resistencia apreciable (puñetazo en el vacío) se consigue un bajo rendimiento. El buen ciclista sabe que, entre estos dos extremos, existe un rendimiento óptimo, y lo consigue ajustando constantemente la relación de marcha,[3] es decir: la fuerza y el ritmo del pedaleo, en función del esfuerzo que hay que realizar, que depende del viento, de la pendiente y de la velocidad. Además, el ciclista utiliza la masa muscular más potente de su cuerpo: los muslos. Recordemos algunas magnitudes: un hombre necesita unos 150 vatios para vivir, siempre que permanezca en reposo, y por encima de este umbral la potencia de que dispone varía siguiendo aproximadamente la inversa de la duración del esfuerzo que realiza. Por ejemplo, si pesa 75 kilos y sube una escalera de 10 metros de alto, un hombre desarrolla una potencia de unos 750 vatios en 10 segundos. No obstante, debe quedar claro que para tiempos más largos la potencia disponible disminuye. ¿Cómo utiliza esta potencia el ciclista?

Cuando la carretera sube, el ciclista ha de vencer la gravedad y debe suministrar una potencia proporcional a su peso (el suyo más el de la bicicleta) y al número de metros de desnivel que recorre por segundo. Así, si la cuesta es del 10 %, un escalador de 65 kg sobre una bicicleta de 10 kg necesitará los mismos 750 vatios sólo para vencer la gravedad si quiere rodar a 36 km/h, es decir, subir 1 metro por segundo. Pero, sobre terreno llano y a velocidad constante, el peso apenas cuenta: el caminante precisa subir y bajar su cuerpo en cada paso (los que practican marcha atlética intentan limitar estos esfuerzos inútiles), mientras el ciclista, por el contrario, permanece siempre a la misma altu-

C

D

El ciclista gasta la mayor parte de su energía en vencer la resistencia del aire.

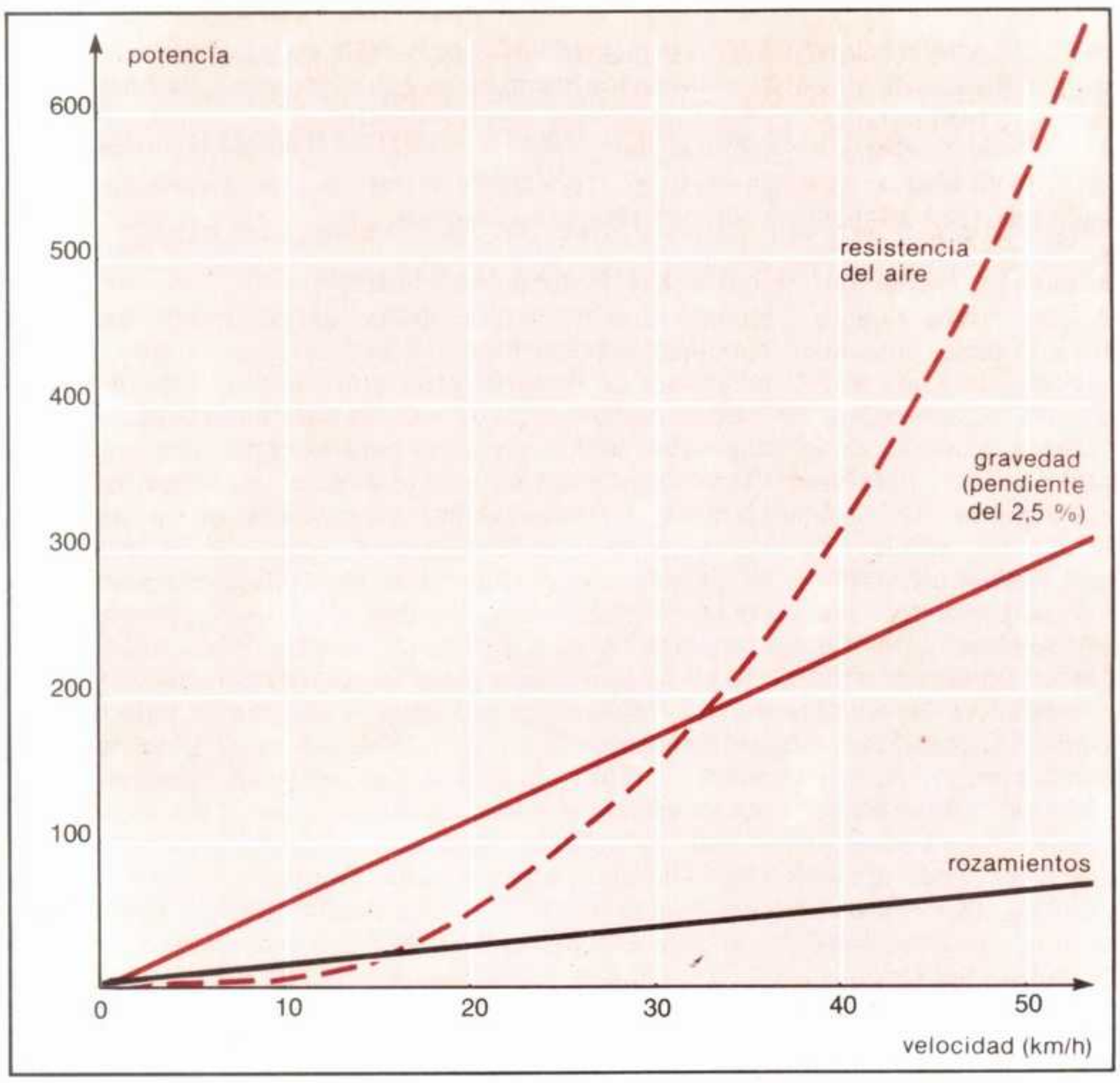


Figura 2. **La potencia típicamente utilizada por un ciclista varía en función de su velocidad. Distinguimos diferentes parámetros: la resistencia del aire, los rozamientos y el efecto de la gravedad en una carretera con una pendiente del 2,5 %. La potencia necesaria para vencer la resistencia del aire es, con mucho, la más elevada; y varía según el cubo de la velocidad (la fuerza varía según el cuadrado de la velocidad).**

ra. Con todo, en competición, la táctica obliga a los participantes a realizar numerosas aceleraciones, con lo que el peso vuelve a desempeñar un papel considerable.

Sin embargo, los corredores suelen preferir perder dos kilogramos de su propio peso antes que aligerar más la máquina, que por lo general no pesa más de 8 kg, pues perdería rigidez. En el ejemplo anterior de una cuesta del 10 % rodando a 36 km/h, la economía de 1 kg de peso no representa más que el ahorro de 10 vatios, lo que viene a significar el 1 % de la potencia necesaria para vencer la gravedad, y mucho menos aun si se compara con la potencia total realmente necesaria. En realidad, pues, el peso de la máquina no es crucial, digan lo que digan las marcas comerciales en la publicidad. Por lo general, las pérdidas de energía debidas al rozamiento de cojinetes y contra el suelo también son despreciables.

En una bicicleta moderna, se pierden muy pocos vatios en los cojinetes, la cadena, el tensor, etc. La firma inglesa Exceltoo y la italiana Campagnolo han sido las primeras en proporcionar al gran público unos cubos de rueda cuyo eje, fabricado a torno y después tratado térmicamente para aumentar la dureza (cementación al temple, ensayo Brinnell), se ha rectificado con una muela fina para obtener una superficie sin rugosidad y un deslizamiento óptimo sobre las superficies de rodamiento del cojinete. No es muy probable que con estas técnicas se consigan sustanciales mejoras.

En cuanto al rozamiento con el suelo, depende esencialmente del diámetro de las ruedas, del tipo de neumáticos y de su presión.

Cuanto mayor sea el diámetro de las ruedas, mejor se absorben las irregularidades del terreno, disminuyendo así la resistencia a la rotación. Pero las ruedas muy grandes tienen mucha inercia y, por tanto, acusan demasiado la fuerza del viento; las ruedas estándar de 700 mm de diámetro tienen una buena medida. Quien haya ido con neumáticos anchos de baja presión (1 kg/cm^2) y después con tubulares finos de 7 kg/cm^2 sabe que, según la presión de los neumáticos y el peso del ciclista, varía la superficie de contacto con el suelo, frenando así en mayor o menor grado el movimiento.

En un neumático típico de anchura media 650 mm, esta superficie es de unos 15 cm^2, mientras que en un neumático especial de pista a 12 kg/cm^2 de presión, esta superficie es de pocos centímetros cuadrados, con lo que el coeficiente de fricción es tres veces más pequeño. A este respecto, sería interesante ensayar en una carretera seca los neumáticos de ciclo-cross, cuya cubierta está formada por pastillas y, por tanto, reduce aun más la superficie de contacto con el suelo. También influyen la elasticidad intrínseca del neumático y las imperfecciones que pueda tener. Pero, en todo caso, estos rozamientos con el suelo resultan por lo general despreciables, y se puede sospechar que si se sigue disminuyendo la adherencia de los neumáticos actuales, más que mejorar la velocidad, lo que se consiga sea comprometer más el frenado.

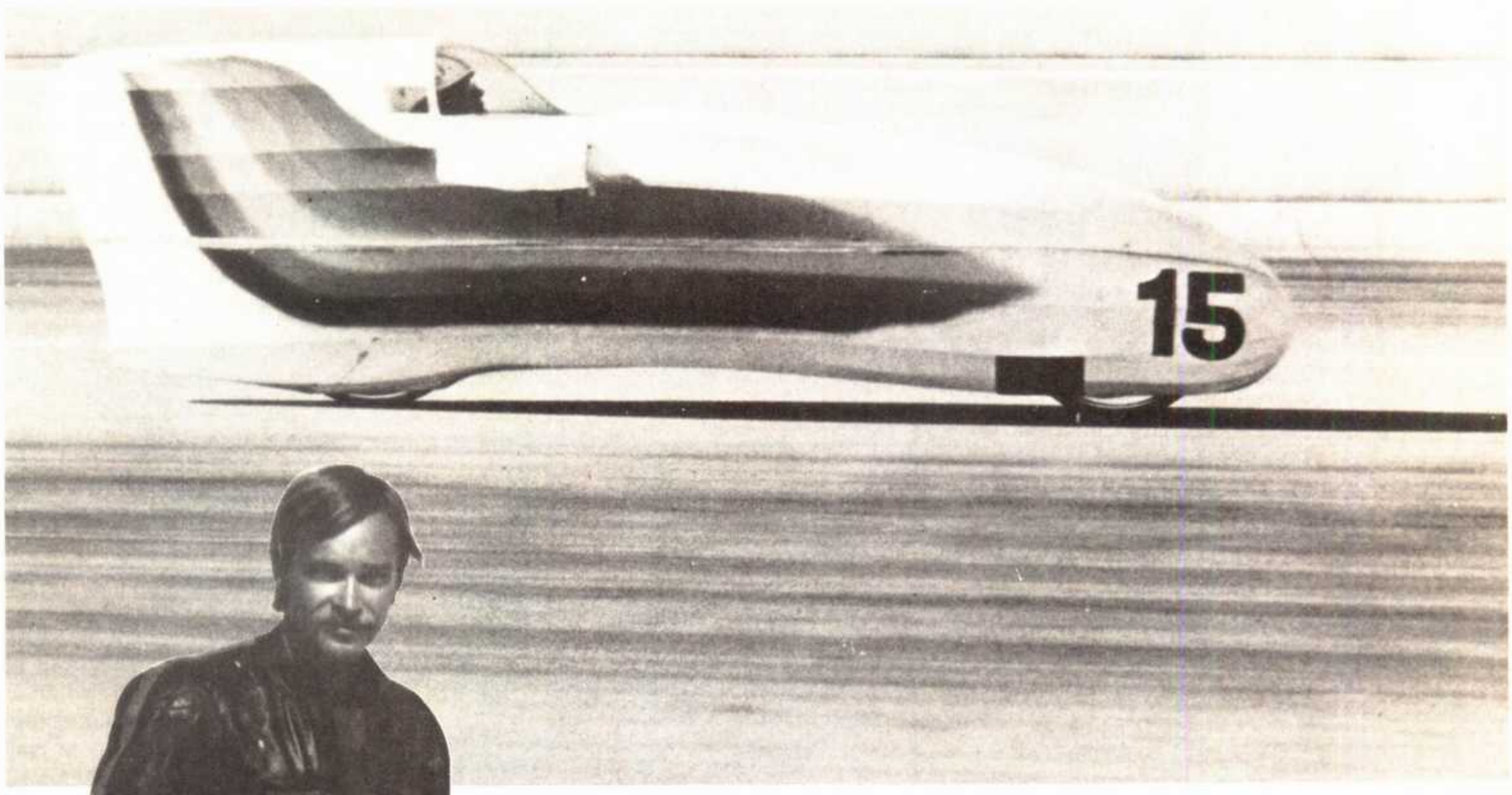
En realidad, el ciclista emplea la mayor parte de su energía en vencer la resistencia del aire (fig. 2). Sin ella, se conseguirían velocidades fabulosas: después de los cinco records que llevaron al francés José Meiffret a rodar a 204,778 km/h detrás de un coche de carreras provisto de una pantalla, ¡Allan Abbot (Estados Unidos) recorrió en 1972 una milla a 225,307 km/h (fig. 3)! Su bicicleta estaba equipada con una rueda de 500 mm delante y otra de 600 mm detrás, pero, sobre todo, estaba provista de un increíble plato (222 dientes) que le proporcionaba un desarrollo de 30,5 metros y le obligaba a hacerse remolcar hasta conseguir los 145 km/h antes de empezar a pedalear. ¡Para hacer temblar al ciclista que ya ha conocido la experiencia de verse zarandeado por la turbulencia creada al paso de un peso pesado!

Después, este médico estadounidense instituyó un premio de 3 000 dólares para el primer vehículo de propulsión humana que sobrepasara la barrera de las 55 MPH (88,5 km/h). Nacieron los ingenios aerodinámicos más heteróclitos y el premio lo consiguió, en 1979, el Rayo Blanco que tres estudiantes de la Northrop University consiguieron hacer llegar a 89,56 km/h. Un cálculo realizado por D.G. Wilson[1] indica que estos ingenios, de forma ovoide, en los que se pedalea echado de espaldas o sobre el vientre, y hasta con los brazos, podrían, muy posiblemente, alcanzar algún día los 125 km/h.

Pero ¿cómo es, pues, esta forma de resistencia del aire que Anquetil intentaba vencer doblando el espinazo y Roger Rivière cortando el extremo de sus cordones o tapando con cinta adhesiva las partes salientes de su casco? Esta fuerza es proporcional a la densidad del aire, a la superficie frontal del ciclista, al cuadrado de su velocidad y a un coeficiente, llamado coeficiente de arrastre, que depende a la vez del perfil y de la rugosidad de la vestimenta. De los 600 vatios necesarios para que un corre-

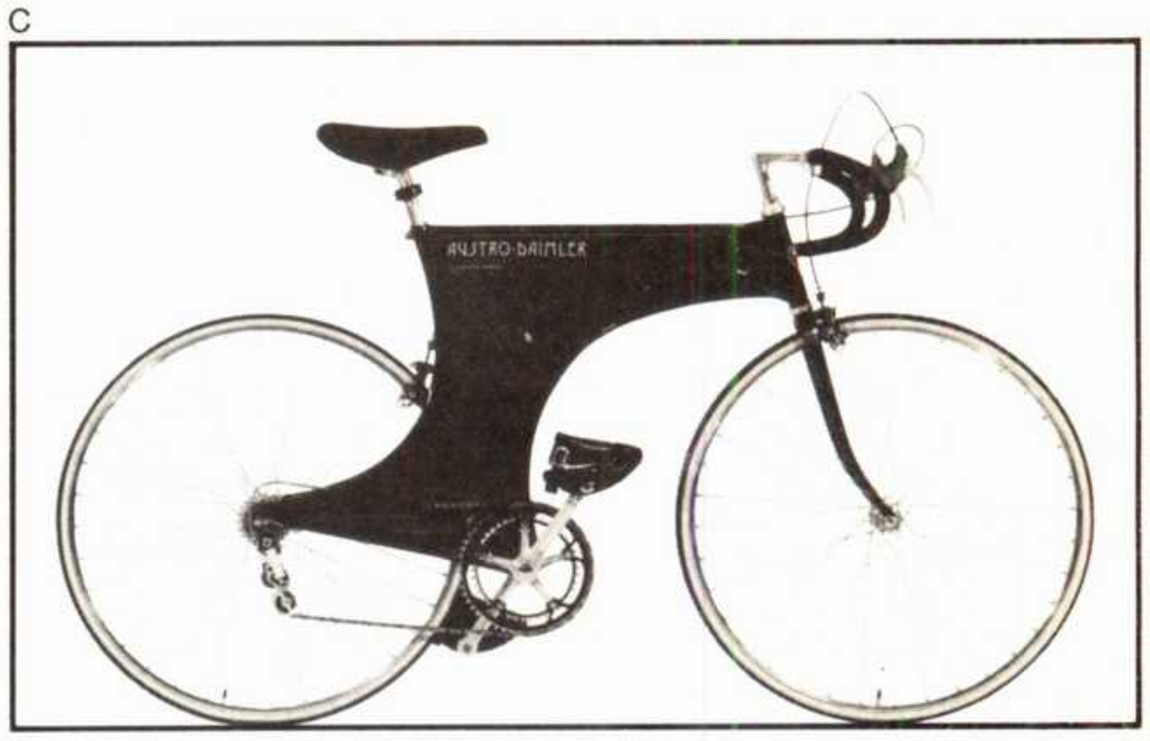
(1) F.R. Whitt, D.G. Wilson, *Bicycling science*, MIT Press, 1974.
(2) S.S. Wilson, *Scient. Americ., 228*, 81, 1973.
(3) No es sino la que media entre el número de dientes del plato de delante y del piñón de la rueda posterior, y que determina el llamado desarrollo, es decir: el número de metros que se recorren por cada vuelta de los pedales. Así, una «relación» de 53 × 13 corresponde aproximadamente a un desarrollo de 9 metros.

B



A

C



D

Figura 3. **La resistencia del aire es la principal fuerza que debe vencer el ciclista. Sin ella, al amparo de un coche de carreras provisto de una pantalla, A. Abbott rodó a 225 km/h con esta bicicleta provista de un plato con 222 dientes** (A). **Concebido para los sprints, el Ontario Motor Speedway** (B) **rodó a más de 85 km/h. Sin duda, la bicicleta perfilada concebida por la marca Porsche** (C) **es demasiado sensible al viento lateral como para ser utilizada en carretera; en cambio, parece que la nueva bicicleta perfilada concebida por Gitane** (D) **permite a Bernard Hinault y a sus compañeros de equipo economizar 70 vatios de potencia a una velocidad de 50 km/h. Sus tubos son de sección oblonga, los cables de los frenos y sus zapatas están ocultos, y la forma de los pedales simplificada.** (A y B, foto *L'officiel, le cycle;* C, foto *Revue du cycle;* D, foto Gitane.)

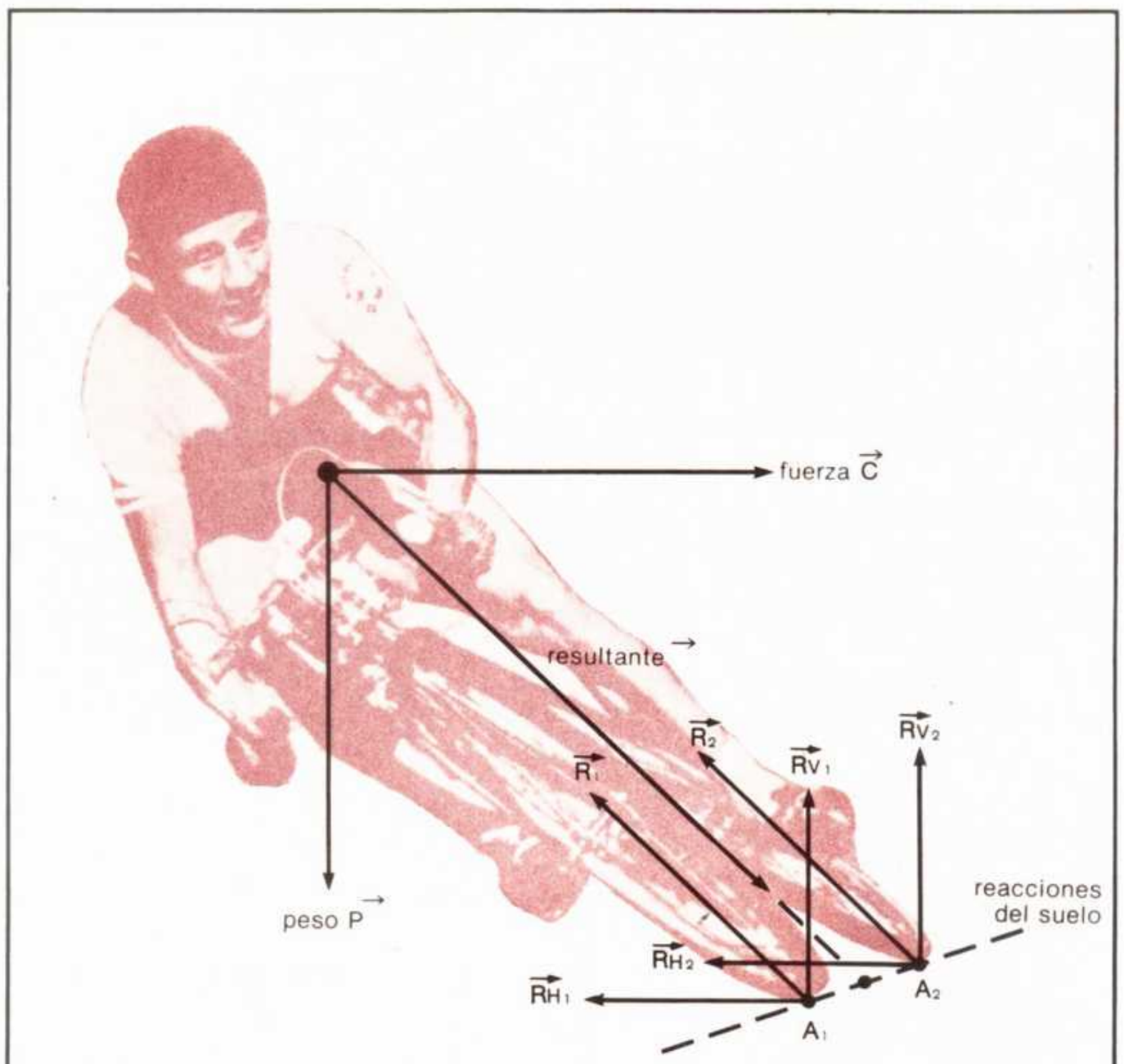


Figura 4. **Hay que creer que el ciclista giraba a la derecha a una velocidad tal que la resultante F de su peso P y de la fuerza centrifuga C pasaba por el eje A_1 A_2 que une entre si los puntos de contacto de sus ruedas con el suelo. En estos dos puntos la reacción del suelo equilibra el peso y la fuerza centrifuga. Las componentes horizontales de sus reacciones** (RH_1 y RH_2) **debian tener una considerable tendencia a hacer desllantar los neumáticos tubulares tendencia que el ciclista debió corregir cuidadosamente, pues de lo contrario habria caido.** (Fotos *Cyclisme magazine. Les cahiers de l'Equipe.*)

dor ciclista clásico pueda rodar a 50 km/h, 200 se deben a la resistencia del aire sobre la máquina, 350 a la resistencia del aire sobre el hombre y sólo los 50 restantes a los distintos rozamientos (cojinetes...). Sin duda se recordará que, en 1979, la firma Renault-Gitane puso en venta bicicletas de carreras muy aerodinámicas y anunció que, con ellas, de los 200 vatios concernientes a la máquina se economizaban 70, si bien durante el Tour de Francia no demostraron una clara superioridad. La firma Porsche realizó investigaciones análogas con el constructor de ciclos Puch. Hay que subrayar, sin embargo, que una excesiva longitud del cuadro de la bicicleta la hace particularmente sensible al viento lateral, lo que constituye un grave inconveniente.

También se sabe que en las carreras contra reloj los corredores se ponen camisetas de seda para reducir así su coeficiente de arrastre. No obstante, la seda impide la adecuada ventilación del cuerpo de los ciclistas, por lo que hoy en día frecuentemente se prefieren materias sintéticas caladas; efectivamente, la transpiración desempeña un papel esencial, al que hemos de atender antes de terminar con los problemas de la energía. Hemos visto en qué se emplea la potencia desarrollada por la máquina muscular humana. Pero también hemos visto que el rendimiento de los músculos es de un 20 a un 30 %, ya que el resto se disipa en forma de calor. Es bien conocido que, en los pelotones, en invierno hace calor; y F.R. Whitt[1] estimó en 1974 que, sin ventilación, el cuerpo de un ciclista que produjese 375 vatios de potencia mecánica se calentaría de tal manera que, en sólo 12 minutos, su temperatura subiría 2 ° (límite tolerable). Este tiempo es, en efecto, del orden del que un buen deportista dedica a su ejercicio doméstico en el «home-trainer». De ahí, que F.R. Whitt proponga con razón, añadir ventiladores a estos temibles ingenios. No cabe duda de que fue el calor la causa de la muerte del infortunado Tom Simpson en las tórridas pendientes de Mont Ventoux. También fue la falta de ventilación la que, en 1979, estuvo a punto de hacer fracasar la victoriosa travesía del Canal de la Mancha realizada por Bryan Allen (de Estados Unidos). Henry Kramer había ofrecido 10 000 libras esterlinas al primer avión que atravesara dicho canal propulsado únicamente por la energía de su piloto. Bryan Allen lo consiguió a bordo de un avión a pedales de 37 kg, 10 metros de largo, 28,6 metros de envergadura, llamado Gossamer Albatros, pero no faltó mucho para que se ahogara en su habitáculo, ciertamente aerodinámico, pero mal ventilado. Así, la bicicleta es un medio de transporte simple y eficaz, lo que no quiere decir, afortunadamente, que no sea fatigosa.

No caer

Nadie duda de que hacer ejercicio es bueno para la salud, salvo caídas. Y es, precisamente este misterio o «magia inexplicable» de la estabilidad de la bicicleta la que la hace fascinante para los niños. A pesar de la aparición reciente de distintos trabajos más o menos científicos[4,5], este problema de nuestra vida cotidiana no está totalmente resuelto. No es sencillo comprender con detalle las fuerzas que contribuyen a la estabilidad, y nosotros solamente intentaremos describirlas, sin pretender por ello estar en posesión de «la» verdad.

Para empezar, separemos dos problemas distintos pero, a la vez, ligados: el de la estabilidad en una curva y el de la estabilidad en línea recta. Un ciclista que gira se inclina hacia el interior de la curva que describe (fig. 4). Simultáneamente está sometido a la fuerza de su peso y a una fuerza centrífuga (hacia el exterior de la curva) cuya suma o resultante debe pasar por la línea que une los puntos de contacto de las dos ruedas con el suelo si se quiere seguir encima de la bicicleta. Con este fin debe ajustar el ángulo de la máquina con la vertical o el radio de su giro. Un ciclista que quiere ir en línea recta pero se ladea y pierde el equilibrio, para recuperarlo debe girar el manillar en el mismo sentido, pues así incurva ligeramente su trayectoria y se ve sometido a la ya citada fuerza centrífuga, que lo endereza. Estos dos puntos parecen claros, y el segundo tiene el mérito de valorar el acoplamiento entre el hombre y la máquina: sin duda alguna, el mantenimiento de la estabilidad del conjunto se basa en las reacciones, instintivas o reflejas, que realiza el hombre ante los movimientos de la máquina; «aprender a ir en bicicleta» consiste en poner a punto este acoplamiento.

Pero esta teoría no explica ni por qué determinadas bicicletas parecen tener mayor estabilidad que otras ni el papel

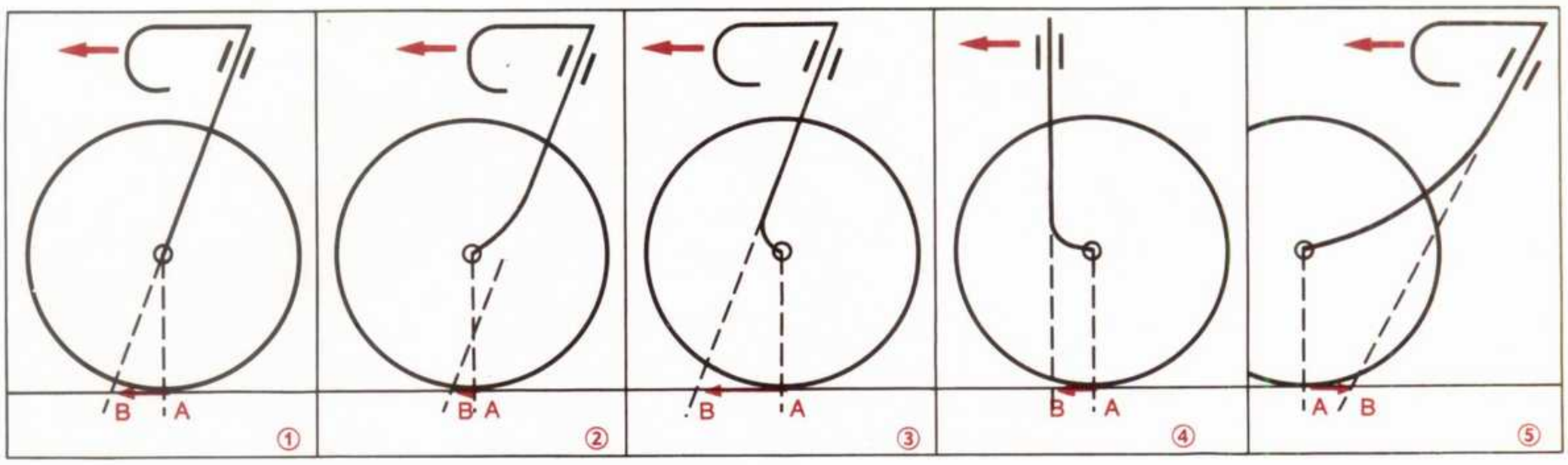


Figura 5. **La estabilidad de una bicicleta depende del signo de la traza lineal AB, distancia entre el punto de contacto A de la rueda y la intersección B del eje de dirección con el suelo. Se dice que esta traza es positiva si el vector $\overrightarrow{AB}$ va hacia delante. El caso 1 es estable, pero poco suave porque las vibraciones debidas a las irregularidades del suelo se transmiten integramente por la columna de dirección. Se utiliza en las bicicletas de carreras especiales para pista. El caso 2 es el más normal, es estable y más cómodo, pues la curvatura de la horquilla hace de suspensión. El caso 3 es muy estable (¿demasiado?) y se utiliza en las bicicletas de carreras de medio fondo, en que el corredor procura estar lo más cerca posible de la moto que le habre camino. El caso 4, donde el ángulo de la columna de dirección está invertido, es aun más estable y se utiliza en las ruedas de carretillas pesadas. Finalmente, el caso 5, de traza negativa, es inestable e inutilizable. La reacción del suelo en el punto A, en vez de estabilizar la bicicleta en linea recta como en todos los casos anteriores, tiende a girar la dirección.**

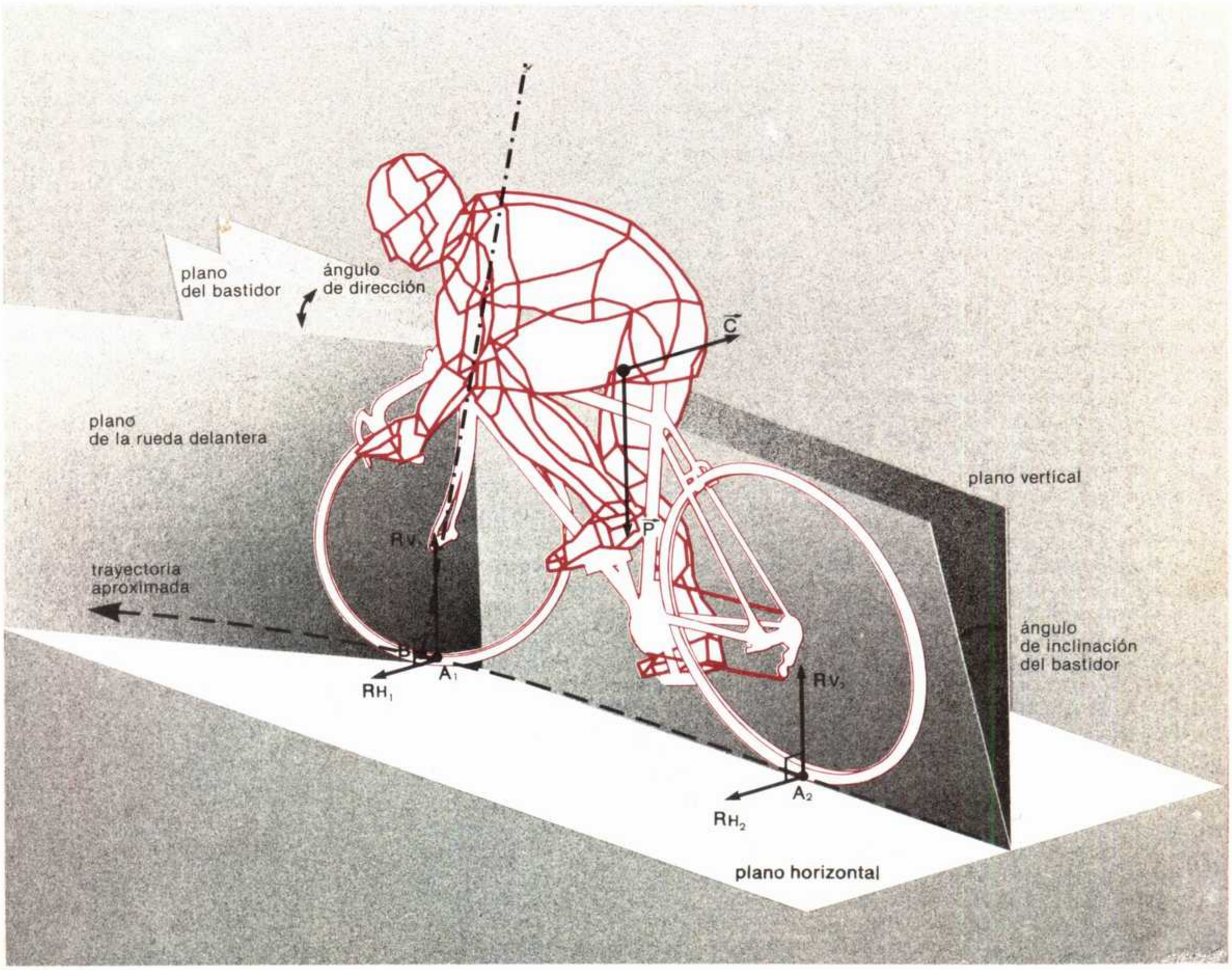
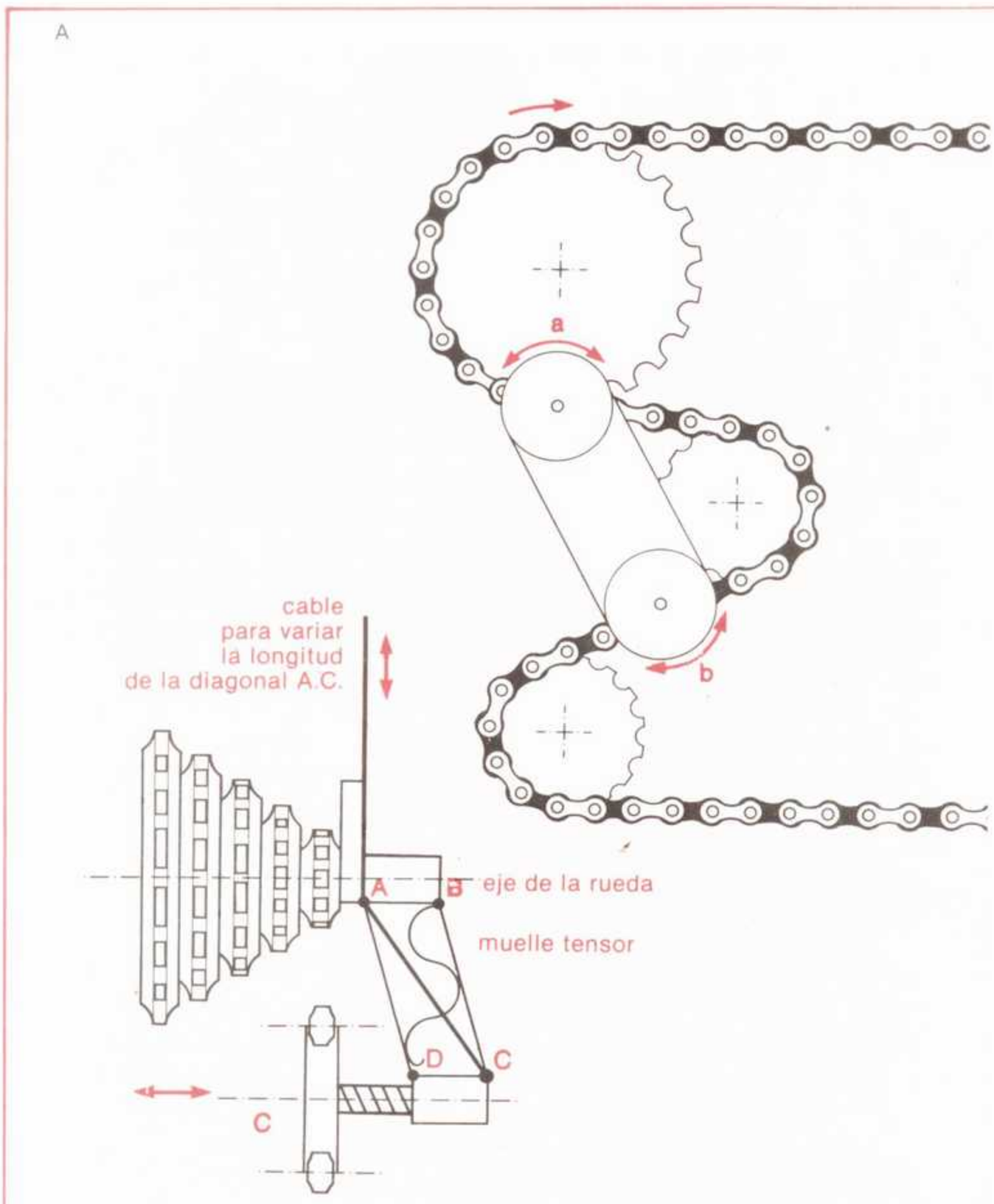


Figura 6. **Cuando el ciclista se ladea, la rueda delantera tiende a girar, incluso sin obligarla voluntariamente. La trayectoria se incurva, dando lugar a una fuerza centrifuga $\vec{C}$ que endereza el bastidor. La componente RH_1 de la reacción del suelo sobre la rueda delantera endereza la dirección.**

(4) D.E.H. Jones, *Physics Today*, p. 34, abril 1970.
(5) S. Timoshenko y D.H. Young, *Advanced dynamics*, Mc Graw Hill, p. 239, 1948.

No siempre se explica la estabilidad sobre dos ruedas.



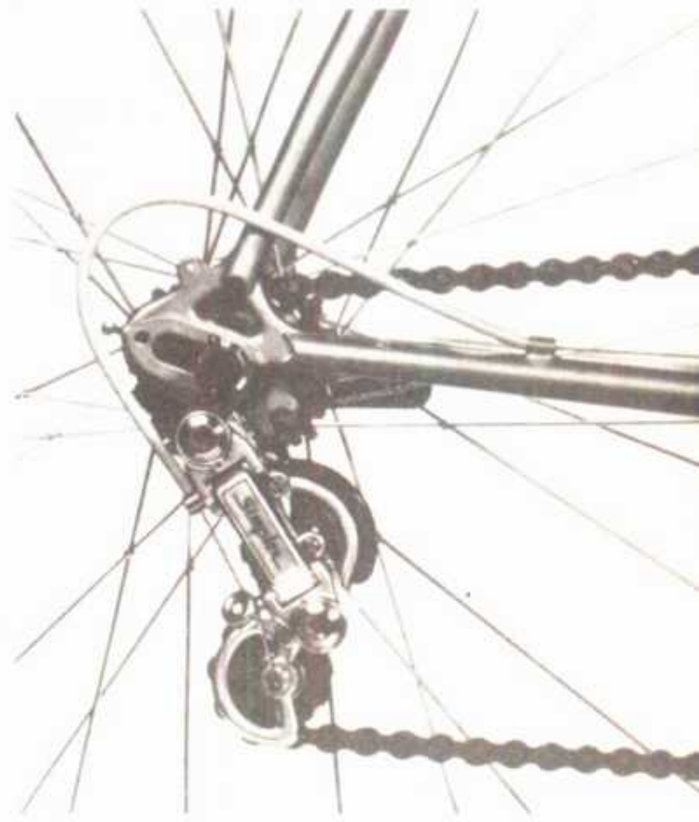


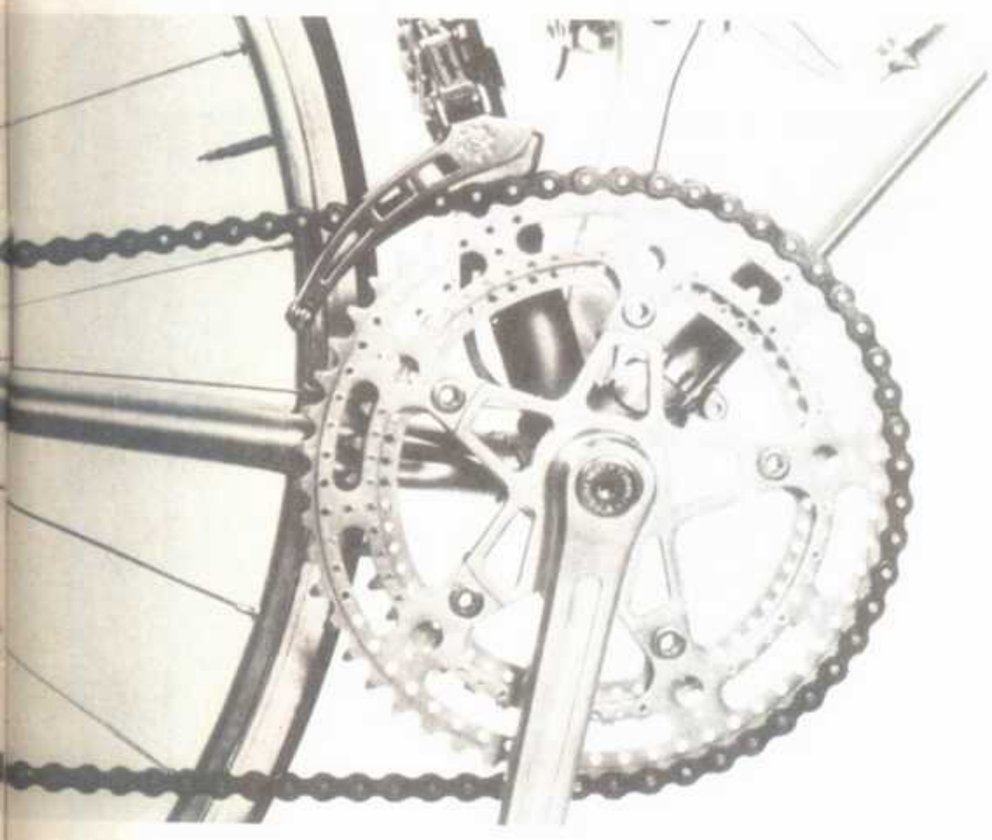
Figura A. **La rotación del conjunto alrededor del eje ha permitido separar el tensor a fin de facilitar el desmontaje de la rueda. La rotación del soporte de los dos piñones libres alrededor del eje b compensa las variaciones de diámetro de los piñones de cambio utilizados y recupera los eslabones necesarios de la cadena con el fin de mantenerla tensada.**
El sistema del paralelogramo deformable ABCD hace el conjunto mecánico muy compacto y aumenta la precisión en la selección de las velocidades, además de conservar una gran amplitud de movimiento. Así, para desplazar los piñones libres hacia el piñón de cambio mayor, basta con reducir la distancia AC; el plano de los dos piñones libres conserva el paralelismo con el plano del piñón de cambio seleccionado.

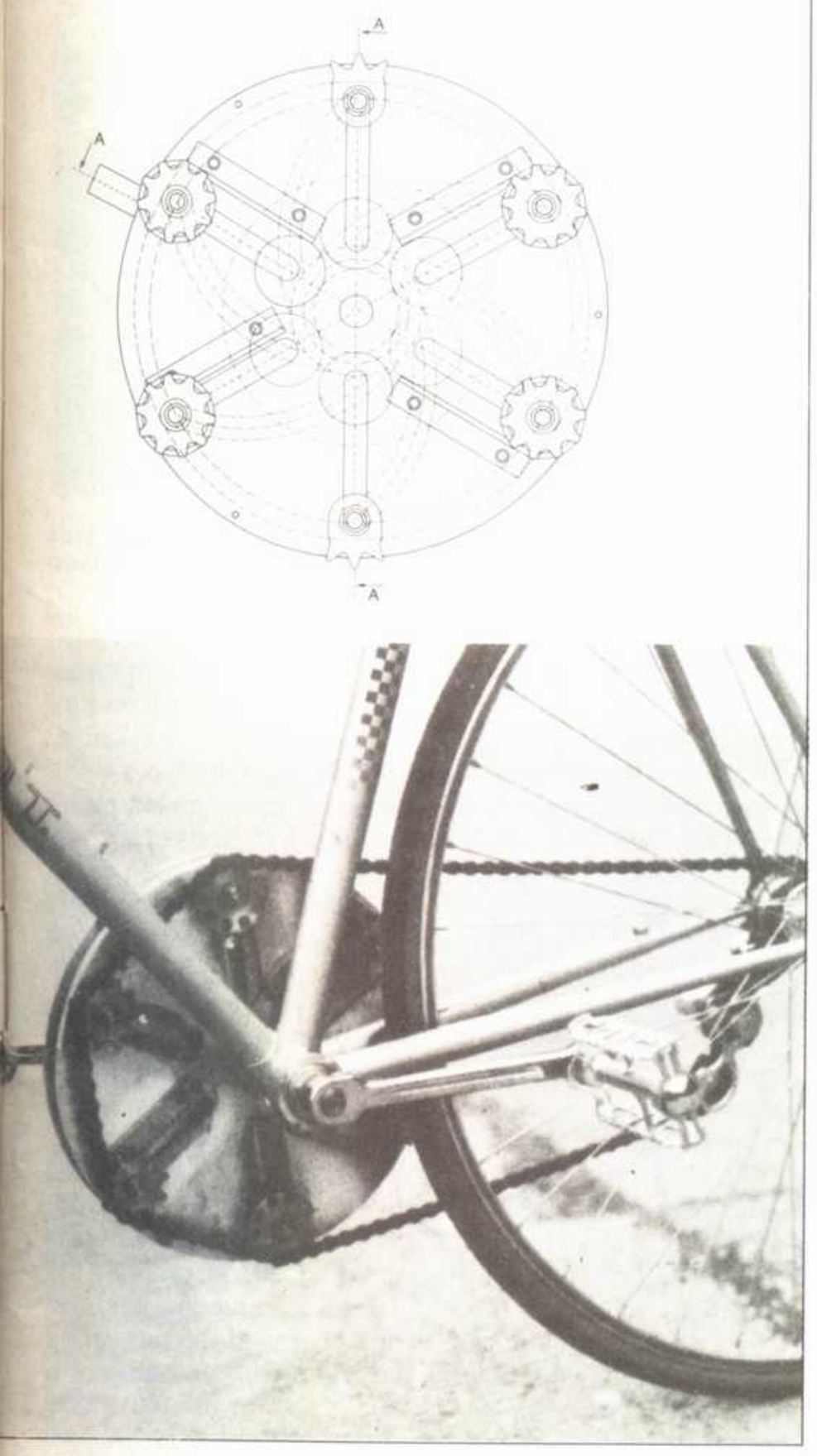
Los cambios de marchas

■ El cambio de marchas es uno de los perfeccionamientos más importantes aportados a la bicicleta desde su invención. Gracias a él, el ciclista puede conseguir las condiciones de rendimiento óptimo de su potencia muscular, sea cual sea la pendiente, la velocidad, el viento o su estado de fatiga. Intervienen distintos sistemas, cuyo rendimiento mecánico es excelente (sólo tienen unas pérdidas por rozamiento de alrededor del 5 %, mientras que las máquinas industriales de potencia equivalente —1 caballo o 750 vatios— tienen pérdidas que frecuentemente alcanzan el 25 %): el habitual tensor, la caja de velocidades interior del eje de la rueda posterior y el plato extensible son los tres ejemplos principales.

El tensor es el más simple, el más ligero (136 g en el modelo Jubilée Huret), el más accesible en cuanto a mantenimiento o regulación y, por supuesto, el más extendido. Su principio consiste en guiar, y a la vez tensar, la cadena que desplaza transversalmente para hacerla pasar sobre las distintas coronas (de 3 a 7) de una rueda libre (fig. A). El número de vueltas que la rueda posterior efectúa por cada vuelta de los pedales es igual a la relación entre el número de dientes del plato de los pedales y el número de dientes del piñón posterior. Así, una relación de 52/13 corresponde a cuatro vueltas de la rueda por cada vuelta de los pedales, y se consigue un desarrollo de 8,50 metros, mientras que, en el otro extremo, una relación de 36/26 corresponde a unas tres veces menos. Gracias a un sistema acoplado de dos o tres platos y de tres a siete piñones, cada uno de ellos provisto de su tensor (fig. B), se obtiene un gran número de relaciones posibles comprendidas entre los factores de relación extremos 1 y 3. El único inconveniente de este sistema es que ocasiona una desalineación de la cadena con respecto al plano de las ruedas dentadas (sobre todo en las posiciones extremas del plato pequeño con el piñón pequeño y del plato grande con el piñón grande, ambas desaconsejables por esta razón) así como algunos rozamientos inútiles. Es el inconveniente que algunos solucionan utilizando la caja de velocidades interior del eje de la rueda posterior. Estas cajas (Torpedo de Fichtel y Sachs o Sturmey-Archer) proporcionan hasta cinco relaciones distintas y tienen la ventaja adicional de ser insensibles a la intemperie. Pero no son ligeras ni fácilmente desmontables o regulables, y dado que, además, sus pequeñísimas ruedas dentadas internas se calientan a gran velocidad, no resultan adecuadas para una utilización deportiva. Presentado en 1980, el plato extensible de Michel Déal[7] es una interesante innovación (fig. C). Gracias a un sistema de resortes, el diámetro efectivo del plato cambia automáticamente en función del esfuerzo ejercido sobre los pedales. La cadena también está siempre alineada y se eliminan los tiempos muertos producidos al cambiar de velocidad, pero las aceleraciones bruscas parecen imposibles. Finalmente, al igual que el plato oval de Edmond Pochlopek, este tipo de plato intenta conseguir que el par ejercido sobre los pedales sea más homogéneo a lo largo de una vuelta completa del plato, logrando que el esfuerzo sea más continuo. Efectivamente, en principio, este par es nulo en las posiciones verticales de los pedales y máximo en las posiciones horizontales, pero, de hecho, depende del sistema de pedaleo de cada ciclista. Sin embargo, hoy por hoy, estos sistemas no han demostrado una auténtica superioridad sobre los clásicos.

(6) *L'officiel, le cycle*, n.° 55, p. 50, marzo 1980.
(7) *L'officiel, le cycle*, n.° 57, p. 26, 43, mayo 1980.





que cabe a la forma de la horquilla de la rueda delantera, ni por qué se puede soltar el manillar, o mantener el equilibrio estando parado. D.E.H. Jones intentó responder a todas estas preguntas construyendo bicicletas imposibles de montar. En primer lugar, se dispuso a destruir un mito muy enraizado en nuestra mente, según el cual la estabilidad sería debida al efecto giroscópico de la rueda delantera. Si se ejerce un par de momento perpendicular al eje de rotación de un giroscopio, para hacerlo girar, éste reacciona en ángulo recto, es decir: gira en torno a una dirección perpendicular a la vez a su eje de rotación y al momento que ejerce el par. Un aro rodando constituye un giróscopo y, efectivamente, si se ladea cambia de dirección, su trayectoria se incurva y la fuerza centrífuga ya citada le restablece el equilibrio haciéndole volver a la vertical. Pero la rueda delantera de una bicicleta no posee más que una débil inercia y, a las velocidades habituales, no es capaz de mantener en equilibrio al, proporcionalmente mucho más pesado, ciclista. Por lo demás, D.E.H. Jones construyó una máquina provista de una segunda rueda delantera que giraba en sentido inverso a la principal para anular el efecto giroscópico, y el ingenio (que él llama «unridable bicycle Mard I», alias URB I), aunque extraño, era de todo punto utilizable. No obstante, no hay que pensar que el efecto giroscópico no desempeña *ningún* papel: es importante, por ejemplo, en el caso ciertamente poco interesante de que la bicicleta ruede sola, sin nadie encima, situación en la que URB I se mostró efectivamente incapaz de girar las ruedas. El efecto giroscópico también se hace notar a alta velocidad, con ruedas tapadas, produciendo entonces desagradables oscilaciones. Finalmente parece que es el único efecto que interviene en el caso del deportista que se entrena con el «home-trainer», quien se mantiene en equilibrio sobre dos rodillos fijados en un chasis, por lo que no puede utilizar ninguna fuerza centrífuga para enderezarse cuando pierde el equilibrio. Debe pedalear lo suficientemente rápido como para que sus ruedas giren a gran velocidad (la unión por correa de los rodillos anterior y posterior es esencial) a fin de disponer de un eventual efecto giroscópico, que aquí se revela de vital importancia. No se consigue mantenerse encima del sillín más que después de una cierta costumbre; el equilibrio en carretera parece mucho más fácil, lo cual nos permite suponer la intervención de otras fuerzas.

Quien haya llevado una bicicleta caminando al lado de ella y cogiéndola por el sillín sabe que, si se inclina, aquella gira. Si se va pedaleando sin coger el manillar y se quiere girar basta con hacer lo mismo. ¿Por qué? El punto de contacto de la rueda con el suelo queda detrás de la prolongación del eje de dirección sobre el suelo (fig. 5), situación que los especialistas describen diciendo que la traza lineal es positiva. Esto quiere decir que girando la rueda se baja el centro de gravedad de la máquina; y que, inversamente, si se inclina la bicicleta, la rueda delantera tiene tendencia a girar por sí sola a fin de minimizar la energía potencial de gravitación. Indiquemos, de paso, que el peso del manillar influye en el mismo sentido y que este efecto, debido a la simple gravedad produce el mismo resultado que el efecto giroscópico, si bien es muy distinto ya que existe estando parado, cuando la velocidad de rotación de la rueda es nula, y depende de la forma de la horquilla. Cuando la bicicleta se ladea y parece que se va a caer, la dirección gira, la trayectoria se curva y la eterna fuerza centrífuga tiende a corregir la situación. A la vez, tiende a enderezar el plano del cuadro hacia la vertical y la dirección de la rueda por medio de la reacción debida a los rozamiento sobre el suelo, cuyo momento también actúa en el sentido adecuado gracias a que la traza lineal es positiva (fig. 6). A partir de razonamientos discutibles, el químico inglés D.E.H. Jones intentó fabricar un ingenio inestable, y no lo consiguió más que alejando el punto de contacto de la rueda delantera con el suelo para lograr una traza lineal negativa. El resultado fue realmente «unridable». Así pues, la estabilidad viene dada por la geometría de la horquilla y de la columna de dirección. Aunque esta descripción nos haya parecido a primera vista satisfactoria, debemos aclarar, aun a riesgo de saturar el interés del lector, que es incompleta. Los rozamientos con el suelo pueden originar una fuerza perpendicular al plano de la rueda, incluso en ausencia de una fuerza centrífuga importante a causa del deslizamiento lateral. Para convencerse de ello, basta coger con la mano una bicicleta cuya rueda delantera esté ligeramente girada: si se empuja hacia adelante la rueda se endereza y si se retrocede se coloca de través, siendo así que la fuerza centrífuga actúa siempre en el mismo sentido. Por lo tanto, habría que analizar con detalle este rozamiento, lo que todavía no se ha hecho científicamente.

Por último, hay que indicar que cuanto más estable es una bicicleta, menos manejable resulta, y viceversa. Por esta razón, los constructores escogen una traza lineal más pequeña para las bicicletas de carreras que para las bicicletas de los repartidores: las primeras necesitan ser ágiles, mientras que en las otras hay que procurar que no se caigan los paquetes. A ello se añade el hecho de que una horquilla curvada constituye

**Una profusión de mejoras
que, en el fondo,
cambian muy poco a la «bella» centenaria.**

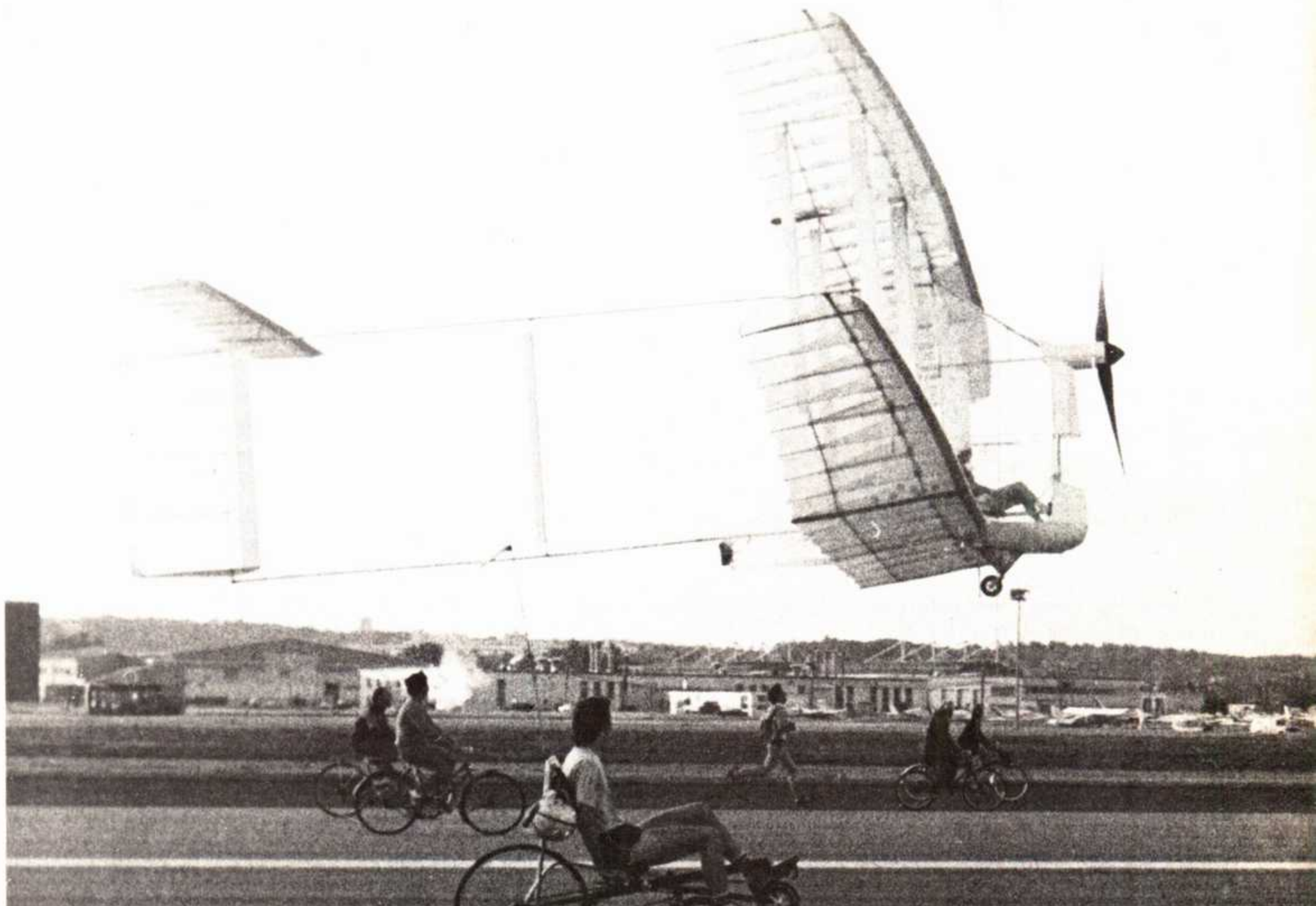


Figura 7. **Bryan Allen consiguió atravesar el Canal de la Mancha a bordo del Gossamer Albatros. El mismo piloto conduciendo el biplano Chrysalis del MIT. En primer plano, una bicicleta de posición alargada, FOMAC-Wilson, montada por el constructor del Chrysalis, Harold Youngren, asimismo estudiante del MIT.** (Foto: Bob Parkes, MIT.)

gracias a su flexibilidad una especie de suspensión, que se completa por la elasticidad de la llanta y la disposición de los radios, sin olvidar el papel amortiguador que cabe realizar a las piernas del ciclista.

¿Cómo se consigue el equilibrio estático? Es más fácil de lo que se podría pensar, a condición de disponer de un piñón fijo, es decir, de poder avanzar *o retroceder.* El corredor que practica este ejercicio gira su manillar; así consigue, avanzando y retrocediendo, desplazar el eje de las ruedas a derecha o izquierda y llevar la bicicleta a la vertical de su centro de gravedad. También le es posible, inversamente, desplazar el peso de su cuerpo a derecha o izquierda apoyándose sobre sus dos pedales. Incluso puede ejercer un par de rotación sobre su máquina de la misma manera. Cabe pensar que, instintivamente, hace un poco de todo para mantener su peso en la vertical de su estrecha superficie de sustentación.

Moda o progreso

Acabamos de ver lo que hace a la bicicleta eficaz y estable. Para terminar, nos falta examinar algunas mejoras que razonablemente se puede esperar. Tanto más cuanto que las modas actuales distan de estar siempre justificadas. Hemos visto que la principal fuerza que el ciclista ha de vencer es la resistencia del aire, y que frecuentemente el peso de la bicicleta desempeña un papel despreciable. Agujerear las empuñaduras de los frenos, los platos, las uniones de los tubos, etc., más que ayudar quitando peso, lo que hace es crear turbulencias suplementarias en la circulación del aire y frenar más la bicicleta. Esta moda reciente es tanto más censurable cuanto que disminuye la rigidez mecánica de las piezas afectadas. En cambio, ocultar las cabezas de los tornillos o las fundas de los cables es interesante.

Siempre con respecto al peso, podemos preguntarnos cuáles son las ventajas respectivas de los distintos materiales utilizados: por ejemplo ¿son preferibles los bastidores de aceros especiales, de duraluminio, de plástico o de titanio? En el estado actual de las técnicas, se trata más que nada de una cuestión de gusto y de precio. Un buen bastidor debe ser rígido para «responder» bien a la presión ejercida por los pies. El duraluminio es ligero, pero menos rígido que el acero, por lo que debe tener un mayor espesor; tiene el inconveniente de no ser fácil de soldar (normalmente, los bastidores de duraluminio están pegados o atornillados); en cambio, se adapta bien a elementos tales como manivelas, pedales, etc. La principal ventaja del plástico es su gran resistencia a la corrosión, pero la realidad es que por el momento no ha conquistado el mercado. Los aceros al cromo o al níquel (densidad: 7,8 g/cm^3, pero con una resistencia a la tracción de 150 a 200 kg/mm^2) constituyen, finalmente, la mejor solución. Tienen la ventaja de que, a

ser tan rígidos, los tubos pueden ser muy finos. Cada marca (Columbus, Vitus, Reynolds) tiene sus «fans», pero éstos, más que por auténticas diferencias de comportamiento, se guían por diferencias (mínimas) de precio o de gusto personal. Recientemente han aparecido otros materiales (titanio, circonio, fibras de carbono o de kevlar) pero sus precios son prohibitivos. El plástico y las fibras de carbono tienen el inconveniente de ser quebradizos. Así, el lanzamiento de bicicletas fabricadas con nuevos materiales, más que a una auténtica investigación dirigida a obtener verdaderas mejoras, responde a un deseo de crear nuevas modas para vender más.

Quizá sean más interesantes los intentos realizados recientemente para utilizar aún mejor la potencia del ciclista. Investigadores estadounidenses[6] aficionados a las marcas o logros de velocidad han construido máquinas en las que se pedalea con los brazos a la vez que con las piernas; con todo no han conseguido aún la prueba definitiva de la eficacia de sus inventos (fig. 7). Sea como fuese, no parece muy juicioso añadir este movimiento suplementario al ciclista medio, suficientemente preocupados ya en mantener el equilibrio y la línea recta, sin hablar del accionamiento de su cambio de velocidades.

Otros investigadores han intentado cambiar la forma de los pedales. El par de fuerzas ejercido por los pies es débil en las posiciones alta y baja de los pedales, por lo que el esfuerzo producido no es continuo. La sociedad Sterne Cycle ha lanzado un nuevo tipo de plato, el Cycloïd.[7] Edmond Polchlopek, corredor de Pontault-Combault, ha lanzado otro, oval, para intentar que el esfuerzo sea más continuo. Otras soluciones, a base de resortes y palancas, han sido premiadas en el concurso Lépine, pero parecen muy pesadas y complicadas. Ahora bien ¿es este movimiento continuo el objetivo que realmente se persigue? Para conseguir un buen rendimiento ¿acaso no necesitan los músculos periódicamente un tiempo de descanso y relajación? ¿Acaso, para el deportista, el problema principal no es más bien conseguir, mediante el entrenamiento adecuado, la utilización óptima[8] de su fuerza y la adaptación de su tono al esfuerzo que tiene que realizar? Sin duda, las futuras investigaciones deberán aportar nuevos conocimientos sobre la fisiología del esfuerzo muscular, lo cual permitirá adaptar mejor cada tipo de bicicleta a cada una de sus posibles utilizaciones.

Pero ¿cuál es la única imperfección de nuestra bella centenaria, el único detalle que la ciencia moderna podría intentar mejorar? El frenado. Incluso con el suelo seco, frena mucho mejor un coche que una bicicleta. Se han pensado muchas soluciones. El freno de acción directa sobre el neumático es brutal. El freno de disco es más progresivo, pero resulta pesado. El frenado mediante retropedaleo hace demasiado complicado el desmontaje de la rueda posterior. Queda el clásico freno de estribo sobre las llantas, que es progresivo y simple pero irregular cuando llueve, sea cual sea la ingeniosidad de los fabricantes de las zapatas actuales (Mafac, Campagnolo, Shimano...). Hará falta inventar un sistema simple que permita dosificar y repartir el frenado en función de la adherencia al suelo. En los automóviles existen sistemas de frenado progresivo, pero ¿son adaptables a las bicicletas? ¿Serán mejores que los reflejos del ciclista? De cualquier forma, el dominio de estos reflejos, logrado a base de horas de juego del ciclista con su fuerza, su velocidad y su equilibrio, constituye el mayor placer de la bicicleta. Y si estos reflejos resultan inútiles, se puede apostar que el ciclismo perderá el título de maillot amarillo de los ocios deportivos que Michel Delore le concedió recientemente.[9] ■

(8) Véanse, por ejemplo, las consideraciones que sobre la eutonía desarrolla Gerda Alexander en su libro *Le corps à vivre*, Tchou, 1977.
(9) M. Delore, *Le Monde*, 5 julio 1981.

Para más información:

■ Mike Hudson, *The Planning book*, Open Book/Friends of the Earth, Londres, 1978.

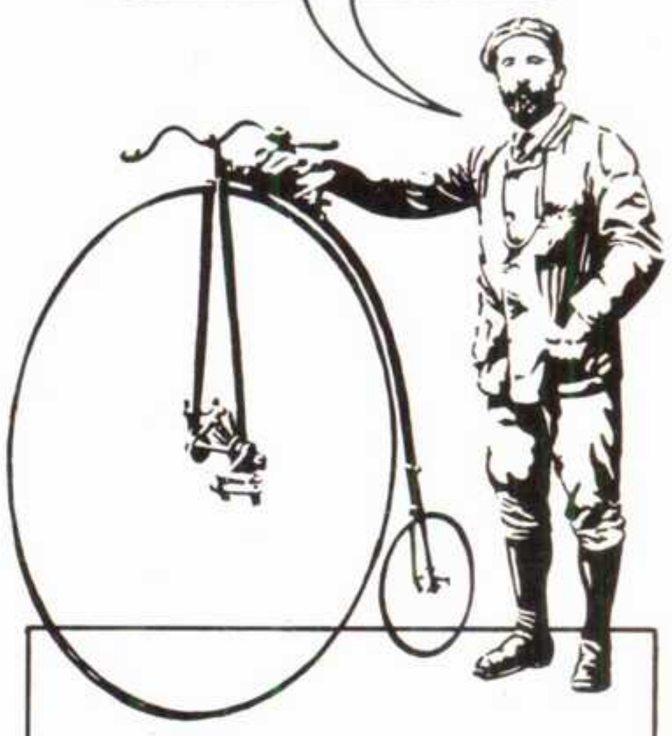
■ La serie de *L'officiel, le cycle*.

■ Rauch, Volke, Paturi, *Historia de la bicicleta*, Ed. Blume, Barcelona, 1981.

■ F.R. Whitt, D.G. Wilson, *Bicycling science*, MIT Press, 2.ª ed., 1980.

■ J. Wilcockson, *Guía práctica de la bicicleta*, H. Blume ediciones, Madrid, 1981.

La máquina más sencilla, perfecta e inofensiva: LA BICICLETA



Guía Práctica de la Bicicleta

J. Wilcockson.

Un libro sobre la historia de "esta vieja amiga".
Con capítulos prácticos sobre cómo y dónde comprar la "bici" adecuada y una amplia guía sobre mecánica, mantenimiento y reparación con más de 100 detallados dibujos.

Al final un apéndice que incluye una amplia gama de marcas y modelos así como cuatro sugestivas rutas turísticas: Galicia, la Costa Brava, Sierra de Cazalla y Camino de Santiago, con una descripción detallada y mapas en color de todos los lugares de interés, alojamientos, equipo, etc...

Rústica. 22x29 cms.
208 págs. 975 Pts.

novedad

El Libro de la Bicicleta

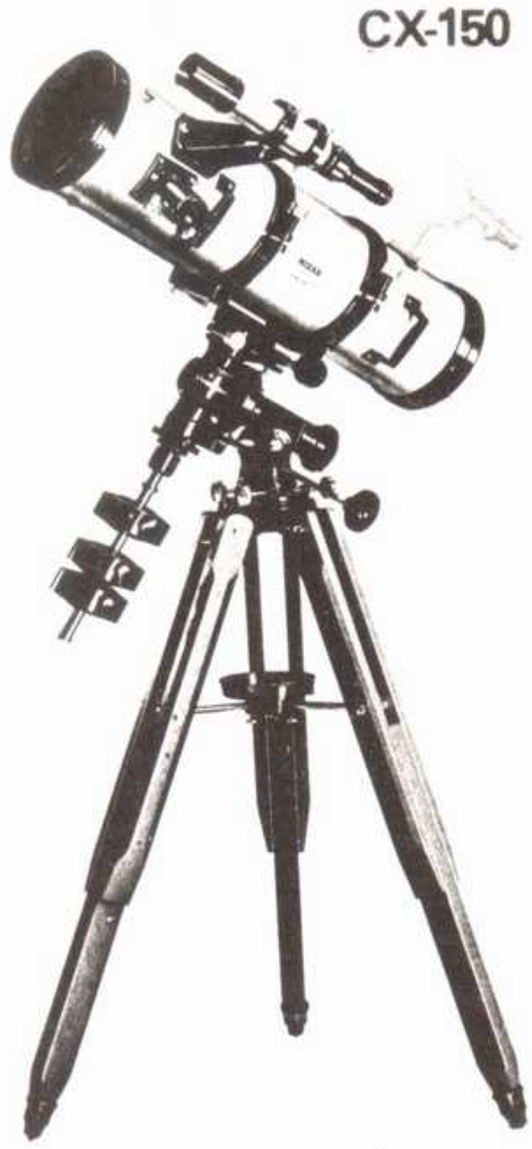
Roderick Watson
Martin Gray

Este libro es un canto a la bicicleta en todas sus formas y estilos. Cubre cada aspecto del ciclismo: su evolución técnica y social, la complejidad dramática del deporte y el resurgir actual de la bicicleta.

Rústica. 13x20 cms. 1980.
382 págs. 800 Pts.

H.BLUME EDICIONES
Rosario, 17 Madrid-5 Tel. 265 92 00

P-100



CX-150

T-22

VIXEN MIZAR

perfección técnica

Modelo	Tipo	Montura y pie	Abertura mm	Distancia focal mm	Aumentos con máxima luminosidad	Oculares incluidos Tipo/mm	Aumentos con estos oculares	Aumento con lente Barlow	Precio ptas.
T-19 Custom	Refractor	Acimutal Trípode	80	910	131	K 20 - HM 12,5 - OR 6	46-73-152	92-146-304	43.360
T-21 Polaris	Refractor	Ecuatorial Trípode	80	910	131	K 20 - HM 12,5 - OR 6	46-73-152	92-146-304	60.700
T-22 Polaris	Refractor	Ecuatorial Trípode	80	1.200	131	K 28 - HM 12,5 - OR 7	43-96-171	86-192-342	69.531
P-90 L	Refractor	Ecuatorial Trípode	90	1.300	207	K 28 - HM 12,5 - OR 7	46-104-186	92-208-372	76.297
100-L	Reflector	Acimutal Trípode	100	1.000	200	K 20 - OR 6	50-166	100-332	40.546
R-100 L	Reflector	Ecuatorial Trípode	100	1.000	200	K 20 - HM 12,5 - OR 5	50-80-200	100-160-400	54.531
P-100	Reflector	Ecuatorial Columna	100	1.000	200	K 20 - HM 12,5 - OR 5	50-80-200	100-160-400	60.156
102-M	Refractor	Acimutal Trípode	102	1.300	212	K 28 - HM 12,5 - OR 6	46-104-217	92-208-434	73.125
P-102 L	Refractor	Ecuatorial Columna	102	1.500	255	K 28 - HM 12,5 - OR 7	53-120-214	106-240-428	176.468
CX-150 E	Reflector	Ecuatorial Columna	150	1.300	435	K 28 - OR 5	52-260	104-520	200.000

Todos los telescopios van equipados con buscador y profusión de accesorios.

PRISMATICOS	YASHICA 10 × 40 m/m	7 980,—	PESETAS
»	» 10 × 50 »	9 315,—	»
»	HUNTER 20 × 60 »	15 750,—	»
PRISMÁTICOS	11 × 80 m/m	22 200,—	PESETAS
»	15 × 80 »	22 500,—	»
»	20 × 80 »	23 000,—	»
»	30 × 70 »	17 000,—	»
»	30 × 80 »	24 500,—	»

CINEFOTO González

VENTA AL MAYOR Y DETALL

General Sanmartín, 23

Tels. 322 85 82 - 322 82 82

VALENCIA - 4

Las estrellas de gran masa

■ Nuestra galaxia contiene varios centenares de miles de millones de estrellas, que presentan una gran variedad en su luminosidad intrínseca y en su masa. La masa y la luminosidad de una estrella son cualidades mutuamente relacionadas. En efecto, la teoría de la estructura interna y de la evolución de las estrellas predice que una estrella consume tanto más rápidamente su combustible nuclear cuanto mayor es su masa: será, en consecuencia, tanto más luminosa cuanto más masa posea y su luminosidad es, grosso modo, proporcional al cubo de su masa. Como la reserva de combustible nuclear —principalmente hidrógeno, que libera energía al convertirse en helio— no es inagotable, resulta que la duración de la vida de la estrella es tanto más corta cuanto más grande es su masa: en otras palabras, las estrellas de gran masa gastan su energía con prodigalidad, y constituyen enormes faros de corta duración, mientras que, más modestas, las estrellas de masa inferior consumen su energía con parsimonia y pueden, por lo tanto, vivir mucho más tiempo radiando relativamente poco. Para fijar las ideas, una estrella de la masa del Sol vive unos diez mil millones de años; formado hace 4 600 millones de años, al Sol le quedan aproximadamente otros tantos de vida, afortunadamente para nosotros. Por el contrario, una estrella que tenga, por ejemplo, 30 veces la masa del sol es 200 000 veces más luminosa, pero sólo vive 6 millones de años antes de morir grandiosamente en una gigantesca explosión, convirtiéndose durante algunos meses en una supernova, todavía mucho más luminosa.

Las propiedades extraordinarias de estas estrellas, que apenas empiezan a ser entendidas, suscitan actualmente un gran interés entre los astrónomos. Describiré algunas de ellas.

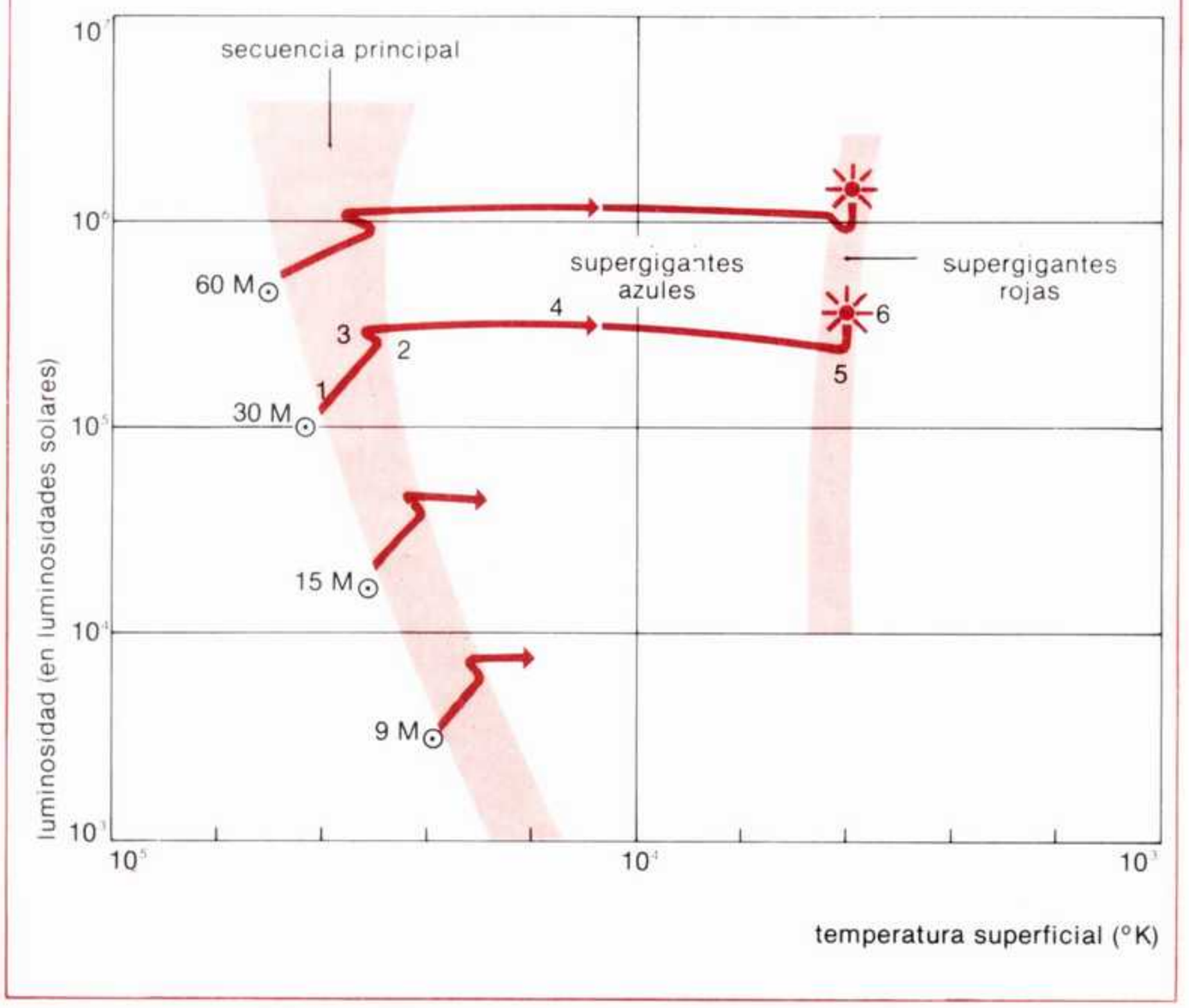


Figura 1. **En este diagrama luminosidad-temperatura superficial (diagrama de Herzprung-Russel) se ha representado el recorrido evolutivo completo de una estrella de 60 y de 30 masas solares ($M_\odot$) y solamente el inicio del recorrido para otras masas. Entre los puntos 1 y 2, la estrella quema hidrógeno en su núcleo: esta fase, denominada secuencia principal, ocupa la mayor parte de la vida de la estrella. 2-3: fase de contracción. 3-4: combustión de hidrógeno en las partes externas del núcleo, la estrella crece y se enfría. 4-5: combustión de helio en el núcleo, la estrella continúa creciendo y se convierte en una supergigante roja. 6: explosión final.**

De la formación a la explosión final

La evolución de estas estrellas de gran masa se divide en tres etapas de muy distinta duración. Desde la misma formación del objeto se desarrolla en su interior un núcleo convectivo en el que la materia está continuamente agitada por movimientos radiales. El hidrógeno se «quema» transformándose en helio y proporciona un flujo de energía considerable que aumenta ligeramente con el curso del tiempo y que, transportado hacia el exterior por radiación a través de la envoltura, sirve para hacer brillar la estrella. Este período ocupa la mayor parte de la vida de la estrella, cuyo aspecto exterior tan solo experimenta escasas transformaciones. Para nuestra estrella de 30 veces la masa del Sol, la temperatura de la superficie, que es extraordinariamente elevada, disminuye lentamente de 40 000 a 30 000 °K, mientras que el radio pasa de 7 a 19 veces el del Sol (700 000 km); la luminosidad, por su parte, aumenta en un factor 2. Las estrellas de diferentes masas se distribuyen en un diagrama luminosidad-temperatura superficial en una banda bastante limitada denominada *secuencia principal* (principal, ya que contiene la gran mayoría de las estrellas, esta fase de su vida es, con mucho, la más larga) (fig. 1). Cuando el hidrógeno del centro del núcleo se ha consumido totalmente, después de 5,5 millones de años, la parte interna, privada de energía, se enfría, la presión disminuye en su seno y se hunde sobre sí misma por efecto de su propia gravedad y del peso de la envoltura exterior. Esta contracción brutal provoca un rápido recalentamiento que, junto con el aumento de la densidad, ocasiona después de algún tiempo, el encendido en el centro de la estrella de una nueva reacción nuclear productora de energía: la fusión de tres núcleos de helio en un núcleo de carbono.

El resto de la estrella, por supuesto, queda afectado por estos fenómenos: la contracción del centro del núcleo va acompañada de una pequeña contracción de la estrella, pero la energía liberada por la combustión del hidrógeno que subsiste en el exterior del núcleo produce pronto una dilatación de la envoltura estelar. Esta dilatación se acelera cuando la energía resultante de la fusión del helio se expande a través de la

Los astrónomos se sienten apasionados por las estrellas de gran masa, cuyas extraordinarias propiedades apenas han empezado a comprenderse.

estrella. Al final de esta fase que en nuestro caso tan sólo dura 600 000 años, la estrella tiene la siguiente estructura: en su núcleo (siempre convectivo, es decir, donde la materia está continuamente en movimiento), la transformación de helio en carbono proporciona la energía. En el límite entre el núcleo y la envoltura, el hidrógeno arde transformándose en helio y aportando un suplemento de energía. Por lo tanto, el núcleo de helio crece en detrimento de la envoltura; en el curso de esta transformación del hidrógeno en helio, que se efectúa por el famoso ciclo CNO descubierto por Bethe en 1939, el carbono presente en esta región se convierte, en gran parte, en nitrógeno. El núcleo en donde arde el helio y la delgada capa periférica de combustión del hidrógeno están rodeados por una inmensa envoltura de densidad bastante baja. La estrella se ha convertido en una supergigante roja cuyo radio alcanza 1 000 veces el del Sol, en tanto que su temperatura superficial sólo es de 4 000 °K. Después de algún tiempo sobrevendrá la explosión final. La figura 1 ilustra esta evolución en el diagrama luminosidad-temperatura superficial.

Tal es la imagen clásica de la evolución de las estrellas de gran masa. Desde hace una década se ha comprobado progresivamente que no se ajusta bien con la observación. De entrada, el astrónomo belga Ledoux había demostrado que las estrellas de masa superior a alrededor de 60 masas solares son inestables a las vibraciones y no pueden subsistir. Ahora bien, existen, tanto en nuestra galaxia como en las galaxias vecinas, estrellas de la secuencia principal más luminosas aún que el millón de luminosidades solares que corresponde a una estrella en el límite de inestabilidad, y tienen, por tanto, una masa aparentemente mayor que este límite (fig. 2). La figura 2 muestra también que no se observan supergigantes rojas de luminosidad mayor que 500 000 veces la luminosidad solar, o sea de masa mayor en alrededor de 50 veces la masa del Sol. ¿En qué se convierten las estrellas de la secuencia principal de masa superior a esa cifra? Finalmente —es un efecto menos espectacular pero igualmente interesante—, la distribución de la mayoría de las estrellas en el diagrama luminosidad-temperatura no delimita la forma de la secuencia principal prevista por la teoría.

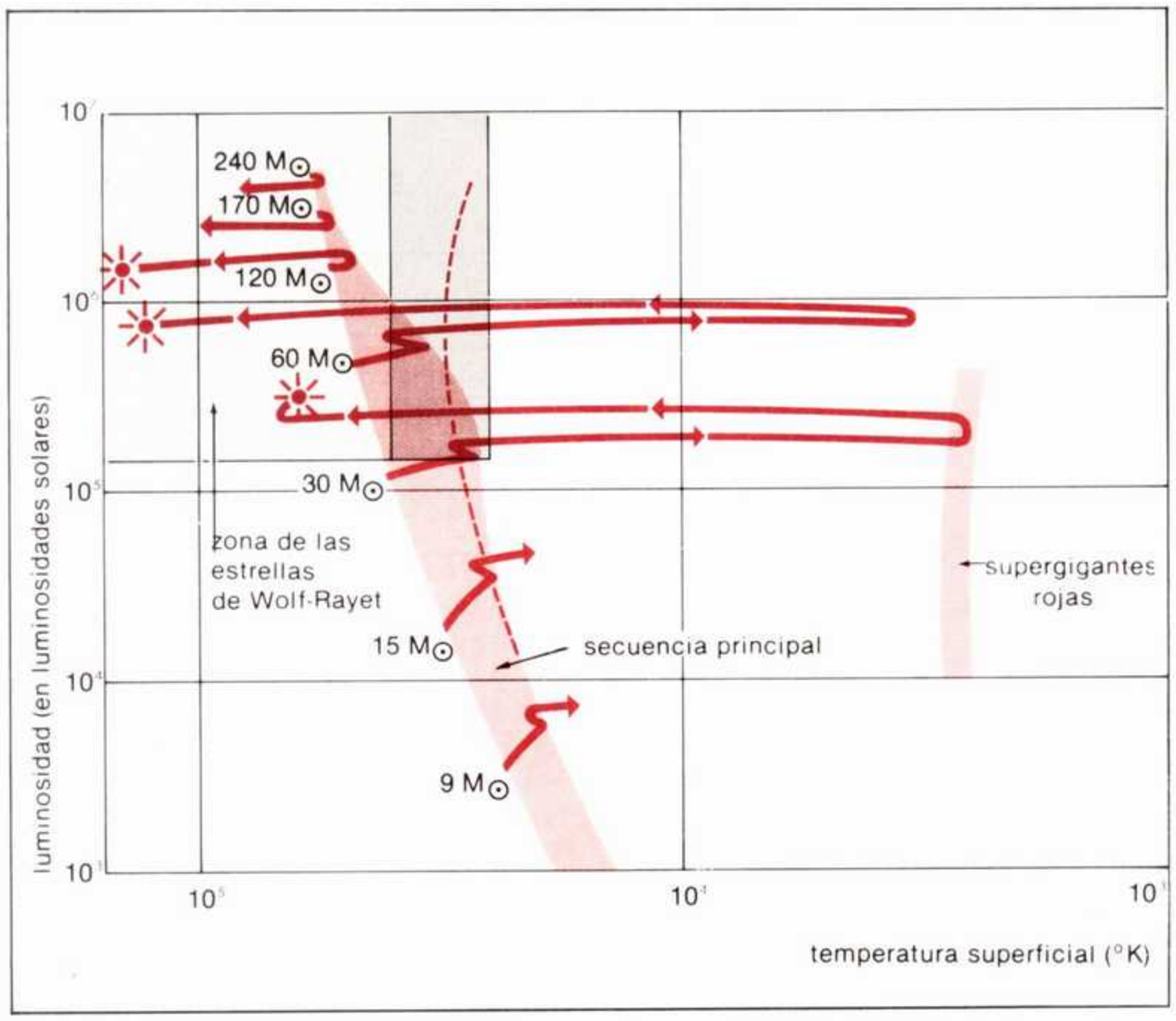


Figura 2. **Evolución de las estrellas de gran masa con pérdida de masa. Compárese con la evolución sin pérdida de masa esquematizada en la figura 1. No hay ningún cambio para las estrellas de masa inferior a 15 masas solares, que no pierden masa. La estrella de 30 masas solares ($M_\odot$) vuelve hacia las altas temperaturas después de una corta estancia en la zona de las supergigantes rojas, luego pierde totalmente su envoltura y explota cuando está muy caliente. La estrella de 60 masas solares apenas llega a convertirse en una supergigante roja; en cuanto a las estrellas de masa superior, evolucionan muy rápidamente hacia la izquierda del diagrama. Al final de su evolución, cuyos detalles (no representados) dependen mucho del valor de la pérdida de masa, todas estas estrellas se convierten en estrellas de Wolf-Rayet WN y luego WC. Este esquema está más de acuerdo con las observaciones que el de la figura 1.** (Según A. Maeder.)

Cuando disminuye la masa de las estrellas

Después de algunas tentativas infructuosas de explicación que datan de 1975, surgió un descubrimiento muy importante que tenía que aclarar finalmente el problema: todas las estrellas de masa mayor a 15 masas solares aproximadamente, pierden continuamente masa en el medio que las circunda. Este fenómeno, cuyo origen físico todavía no se ha llegado a comprender, ya se había sospechado antes en algunas estrellas como P Cigny a partir de observaciones espectroscópicas. Se reveló en toda su importancia merced a las observaciones realizadas en el ultravioleta lejano por los estadounidenses Snow y Morton por medio del satélite Copernicus. Más recientemente ha sido confirmado y precisado por el satélite IUE (International Ultraviolet Explorer). Para nuestra estrella cuya masa inicial es de 15 masas solares, la relación de pérdida de masa es de alrededor de 10^{-6} masas solares por año, de tal manera que tan sólo quedan 24 masas solares al final de la fase de combustión del hidrógeno en el núcleo. No tiene nada de extraño que la evolución estelar sea profundamente modificada por este fenómeno.

Diversos grupos de astrónomos se han dedicado desde hace unos cinco años al estudio teórico de la evolución de las estrellas de gran masa cuando se produce pérdida de masa, tanto en Estados Unidos como en Italia, Bélgica y Suiza. Esta idea ya se había considerado con anterioridad al descubrimiento de las pérdidas de masa, pero la teoría era demasiado rudimentaria para dar resultados parangonables con los datos observados. Después de algunas tentativas se ha llegado a un acuerdo con respecto a las líneas maestras de lo que sucede. De entrada, la inestabilidad prevista para las estrellas de gran masa corresponde a una liberación suplementaria de energía, que puede absorberse para producir la propia pérdida de masa, la cual amortigua, en consecuencia, el fenómeno: parece por lo tanto posible tener estrellas estables (o casi estables) incluso si su masa es muy superior al límite de inestabilidad de 60 masas solares, supuesto que pierdan masa de acuerdo con la observación. Para las estrellas de masa no demasiado grande, la pérdida de masa tan sólo aporta cambios cualitativos en su evolución hasta la fase de supergigante roja; pero la pérdida de masa durante esta fase, si es lo

Las páginas 18 y 19 contienen publicidad

bastante intensa, puede hacer perder a la estrella toda su envoltura, dejando al descubierto las regiones profundas muy calientes y de pequeño radio: la estrella ve entonces desplazarse muy rápidamente hacia las altas temperaturas su punto representativo en el diagrama de la figura 2. Las zonas que aparecen en la superficie contienen elementos, como el nitrógeno, que han sido sintetizados en las capas profundas de la estrella.(1) Si la masa inicial es muy grande, los cambios en la evolución son todavía más profundos.(2) En el momento en que el hidrógeno se agota en el núcleo, la estrella prácticamente ya no tiene una envoltura susceptible de expandirse para formar una supergigante roja, ya que la pérdida de masa la ha eyectado. Como en el caso precedente, se ven entonces aparecer en su superficie los productos del ciclo CNO, es decir, una cantidad de helio y de hidrógeno. Cuando ya no queda más hidrógeno susceptible de convertirse en helio, es tada la estrella la que se contrae calentándose hasta que la combustión del helio en carbono conduce a una nueva fase de estabilidad, muy corta por lo demás, antes de la explosión final. En el transcurso de estos fenómenos la producción de energía, y por tanto la luminosidad, no varían mucho, pero la temperatura superficial de la estrella aumenta en tanto que su radio disminuye. Su punto figurativo se desplaza en consecuencia hacia la izquierda del diagrama temperatura-luminosidad (fig. 2) en lugar de ir hacia la derecha para formar una supergigante roja más fría, tal como lo hacen las estrellas de menor masa.

Estrellas un tanto misteriosas

La teoría precedente da cuenta no tan sólo de la existencia de estrellas muy calientes de masa extraordinariamente grande (quizá 200 masas solares o más) y extremadamente luminosas (5 millones de veces la luminosidad del Sol), existencia que parecía definitivamente establecida, sino también de la ausencia de supergigantes rojas más luminosas que 500 000 veces el Sol: el efecto de la pérdida de masa en las estrellas de luminosidad superior a esta cifra es tal, como se ha visto, que evolucionan directamente hacia temperaturas elevadas sin pasar por el estado de supergigante roja. Estas consideraciones permiten, además, explicar de forma satisfactoria la naturaleza de unos objetos particularmente extraños, las estrellas de Wolf-Rayet. Estas estrellas, descubiertas hace más de cien años por dos astrónomos franceses, se caracterizan por la presencia de rayas de emisión anchas e intensas.

Las estrellas de Wolf-Rayet eyectan cantidades enormes de materia, a razón del orden de 5×10^{-5} masas solares por año. La materia eyectada contiene poco o nada de hidrógeno, mucho helio y, además, grandes cantidades de nitrógeno (estrellas WN) o grandes cantidades de carbono (estrellas WC). Se trata, desde luego, de estrellas que han perdido totalmente su envoltura debido a las pérdidas de masa anteriores, y donde queda al descubierto y se está eyectando la materia que ha experimentado el ciclo CNO y que por tanto es pobre en hidrógeno y rica en helio y nitrógeno (WN), o incluso la materia procedente del núcleo profundo de la estrella en donde el helio se ha transformado parcialmente en carbono (WC): en este último caso es necesario que la zona más externa, rica en nitrógeno, haya sido previamente eyectada, y se cree que las WC han sido anteriormente WN. A. Maeder, M. Azzopardi y yo mismo(3) propusimos el pasado año que una parte de las estrellas de Wolf-Rayet resultan de la pérdida total de la envoltura de las supergigantes rojas; según la importancia de la pérdida de masa de estas supergigantes rojas, que, desde luego, es función de su composición química, se obtiene una proporción más o menos grande de Wolf-Rayet: la observación pone de manifiesto, en efecto, que la razón del número de Wolf-Rayet al de supergigantes rojas depende enormemente de la composición química de la región estudiada. Por su parte, el estadounidense P. Conti había propuesto en 1976(4) que las estrellas de Wolf-Rayet resultan directamente de una gran pérdida de masa por las estrellas luminosas: es lo que sin duda sucede con las estrellas de mayor masa, según se ha visto más arriba. Verosímilmente los dos mecanismos coexisten en las estrellas de alrededor de 40 a 60 masas solares, según la importancia de su pérdida de masa. Para complicarlo más, mencionaré que los intercambios de materia en estrellas dobles de gran masa muy próximas pueden ayudar a hacer desaparecer la envoltura de una de sus componentes y transformarla en una estrella de Wolf-Rayet, como ha sido expuesto recientemente por C. De Loore en *Mundo Científico,* n.º 4, p. 386. Estos fenómenos extraordinarios explican la fascinación que las estrellas de gran masa ejercen actualmente sobre los astrónomos, las cuales son también objeto de investigaciones teóricas de las que he mencionado algunos comunicados, así como de numerosas observaciones en nuestra galaxia y en las galaxias próximas, que culminarán con el lanzamiento de un telescopio espacial.

James Lequeux.

(1) A. Maeder, *Astronomy and Astrophysics,* en prensa.
(2) A. Maeder, *Astronomy and Astrophysics, 92,* 101, 1980; A. Noëls., M. Gabriel, *Astronomy and Astrophysics,* en prensa.
(3) *Astronomy and Astrophysics, 92,* L17, 1980.
(4) *Mémoires Société royale des Sciences de Liège, 9,* 139, 1976.

GG

Colección Tecnología y Sociedad

Algunos de los títulos publicados en esta colección:

Michel Bosquet (André Gorz)
Ecología y Libertad

William H. Davenport
Una sola cultura
La formación de tecnólogos-humanistas

Duncan Davies/ Tom Banfield/Ray Sheahan
El técnico en la sociedad

Siegfried Giedion
La mecanización toma el mando

M. Kranzberg/ W.H. Davenport (eds.)
Tecnología y Cultura

David Morris/Karl Hess
El poder del vecindario. El nuevo localismo

Arnold Pacey
El laberinto del ingenio

Langdon Winner
Tecnología autónoma

Editorial Gustavo Gili, S.A.

La química supramolecular

por Jean-Marie Lehn

Jean-Marie Lehn, medalla de oro 1981 del CNRS, es profesor de Química en el Collège de France y director del laboratorio de química orgánica física del Instituto Lebel de Estrasburgo.

■ Los últimos años han conocido el desarrollo de una nueva Química: la Química supramolecular. Más allá de los profundos cambios que ha suscitado en los métodos y objetivos de los químicos su impacto es ya considerable en numerosos sectores, desde la medicina a la catálisis.

■ ¿Qué tiene de verdaderamente nuevo esta química? Clásicamente un compuesto químico se forma uniendo átomos para dar moléculas. En la química supramolecular se crean nuevas entidades, las supramoléculas, no uniendo átomos sino las mismas moléculas. ¿Cómo tienen lugar estas asociaciones moleculares? Cuando son posibles ¿a qué se deben? Jean-Marie Lehn, uno de los pioneros de esta química del porvenir, responde aquí a todas estas preguntas.

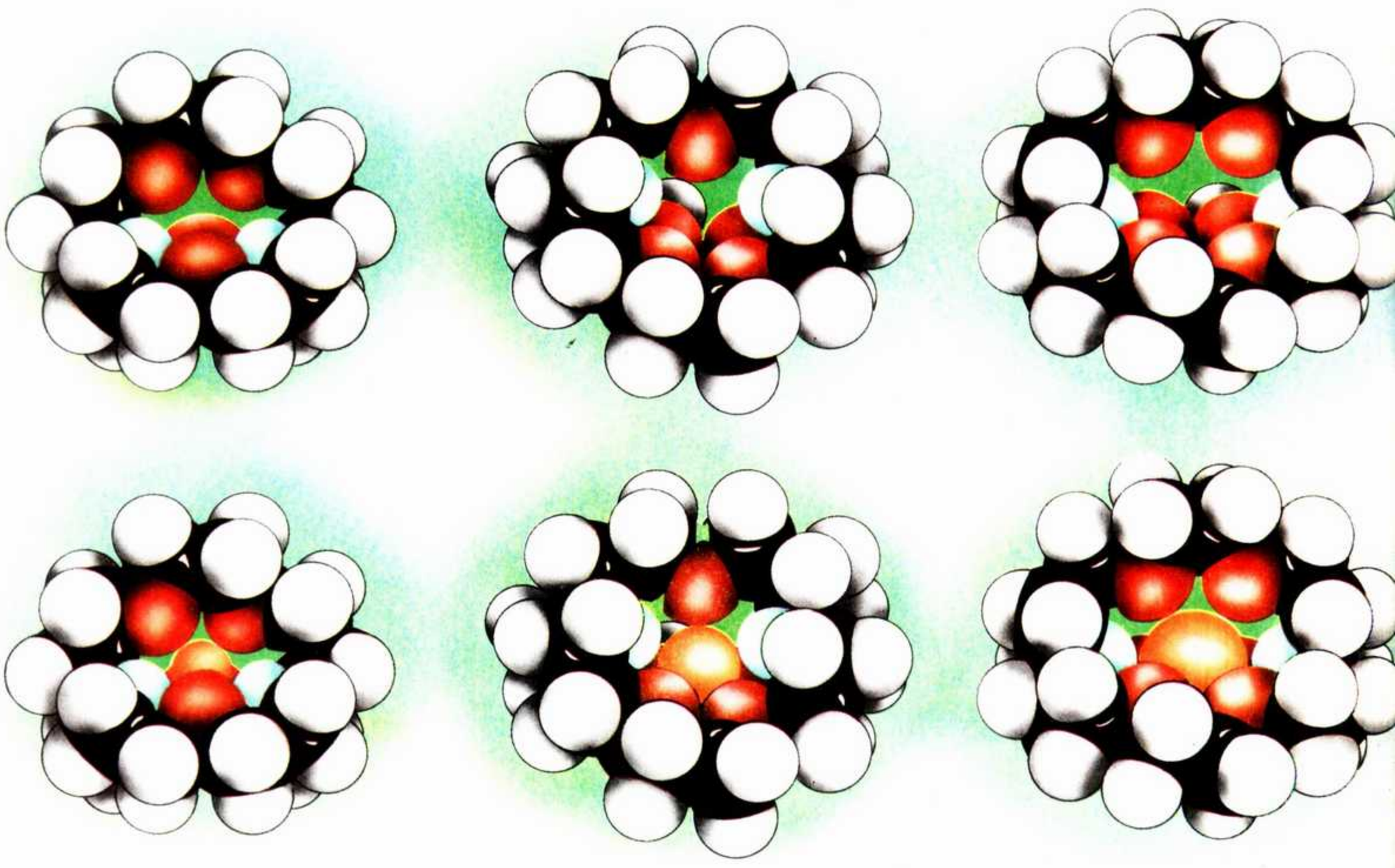


Figura 1. **Un criptato es un ejemplo clásico de supermoléculas. Es un conjunto tridimensional de átomos de carbono (en negro), de oxigeno (en rojo), de nitrógeno (en azul) y de hidrógeno (en blanco) que presenta una cavidad interna, en la que se encuentra un ion (en naranja en la figura). Según las condiciones del medio que lo rodea, puede entrar y salir y dar lugar a diferentes procesos quimicos, como el transporte de iones.**

■ La elaboración de un compuesto químico es una construcción, una arquitectura. El químico une átomos para formar moléculas. Las moléculas más simples contienen pocos átomos; las estructuras más complicadas poseen un mayor número de átomos y, en fin, las macromoléculas pueden contener varios millares. Una disciplina ya antigua, la química molecular, tiene por objeto la síntesis de esos edificios moleculares.

Cuando se asocian dos o más especies se plantean nuevas preguntas: ¿cuál es la estructura del agregado formado? ¿con qué fuerza se han unido sus componentes? ¿cuál es la selectividad en dicha asociación, o sea, por qué se unen unas partes y no otras? Un eminente químico, Emil Fischer, fue el primero en darse cuenta del problema y en entender su naturaleza. La especificidad de la reacción de un enzima con su sustrato lo conduce, en 1894, a la conclusión de que para reconocerse y reaccionar, las moléculas de sustrato y receptor debían acoplarse como la llave a su cerradura. Emil Fischer sentaba desde este momento las bases de una nueva química, la de las interacciones entre dos o más especies químicas, cuyo campo se extiende más allá de la molécula y que calificaremos de supramolecular.

Su objetivo: la síntesis y estudio de las supramoléculas (fig. 1), las asociaciones entre dos o más moléculas en las que una actúa como anfitrión (receptor) y la otra como invitado (sustrato). Como veremos, su estudio es importante, pues esta nueva disciplina es por esencia interdisciplinaria y comprende distintos campos de la química (orgánica, física, inorgánica, analítica) dando razón de la mayoría de procesos biológicos. Mientras los bioquímicos descubrían los objetos y reacciones de la materia viva, los químicos creaban nuevos sistemas reactivos de múltiples aplicaciones teóricas y prácticas. Efectivamente, al estudiar la química del ser vivo, los bioquímicos se dan cuenta de

que hay muchos fenómenos que dependen de asociaciones moleculares entre moléculas grandes, a menudo proteínas, y entidades más pequeñas. La hemoglobina de la sangre, por ejemplo, está formada por una gran molécula anfitriona que encierra en su interior un ion hierro sobre el que se fija la molécula de oxígeno necesaria para vivir.

Paralelamente, los químicos desarrollaban una química de complejos, o química de coordinación, asociando moléculas orgánicas e iones metálicos y creando así nuevas moléculas, dotadas de un gran número de propiedades. Sin embargo, la formación de complejos con los iones alcalinos (litio, sodio, potasio, etc...) era muy difícil. El descubrimiento, en los años 60, de sustancias naturales que formaban complejos de forma selectiva con los iones alcalinos y alcalinotérreos (magnesio, calcio, etc...) suministró un modelo a los químicos. Estas moléculas están formadas por un sistema cíclico de gran tamaño que lleva consigo una veintena de eslabones. Los compuestos macrocíclicos más conocidos son los antibióticos, como la valinomicina y la nonactina (fig. 2). Por de pronto, en 1967, el investigador estadounidense C.J. Pedersen[1] obtiene otros compuestos macrocíclicos, unos poliéteres en forma de «corona»

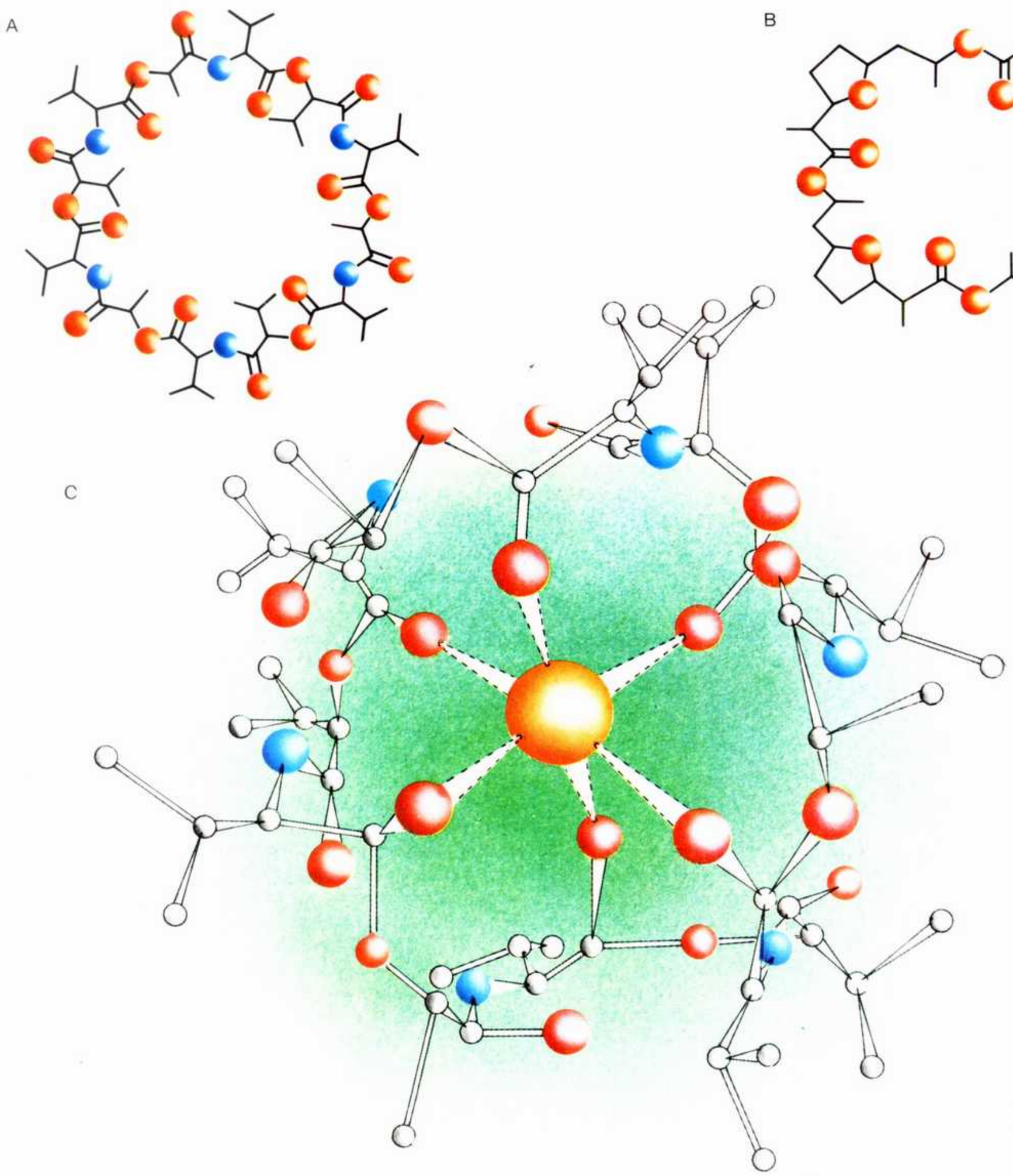


Figura 2. **Los antibióticos naturales como la valinomicina** (A) **y la nonactina** (B) **no tienen la misma estructura de base. La valinomicina está formada por aminoácidos, la nonactina es lo que se llama un macrotetrólido. Los dos compuestos tienen, no obstante, un punto en común: forman un gran anillo o macrociclo, en cuyo centro puede colocarse un catión (naranja)** (C). **El catión está unido al macrociclo por los átomos de oxígeno, mientras que los grupos CH_3 y CH_2, que son hidrófobos, se orientan hacia la periferia del complejo. Resultado de ello es que estos compuestos son insolubles en agua, pero solubles en las grasas. Pueden difundirse en las membranas biológicas, sirviendo de portadores a los iones que están incluidos en ellas.**

(1) C.J. Pedersen, *J. Ann. Chem. Soc., 89,* 7017, 1967.

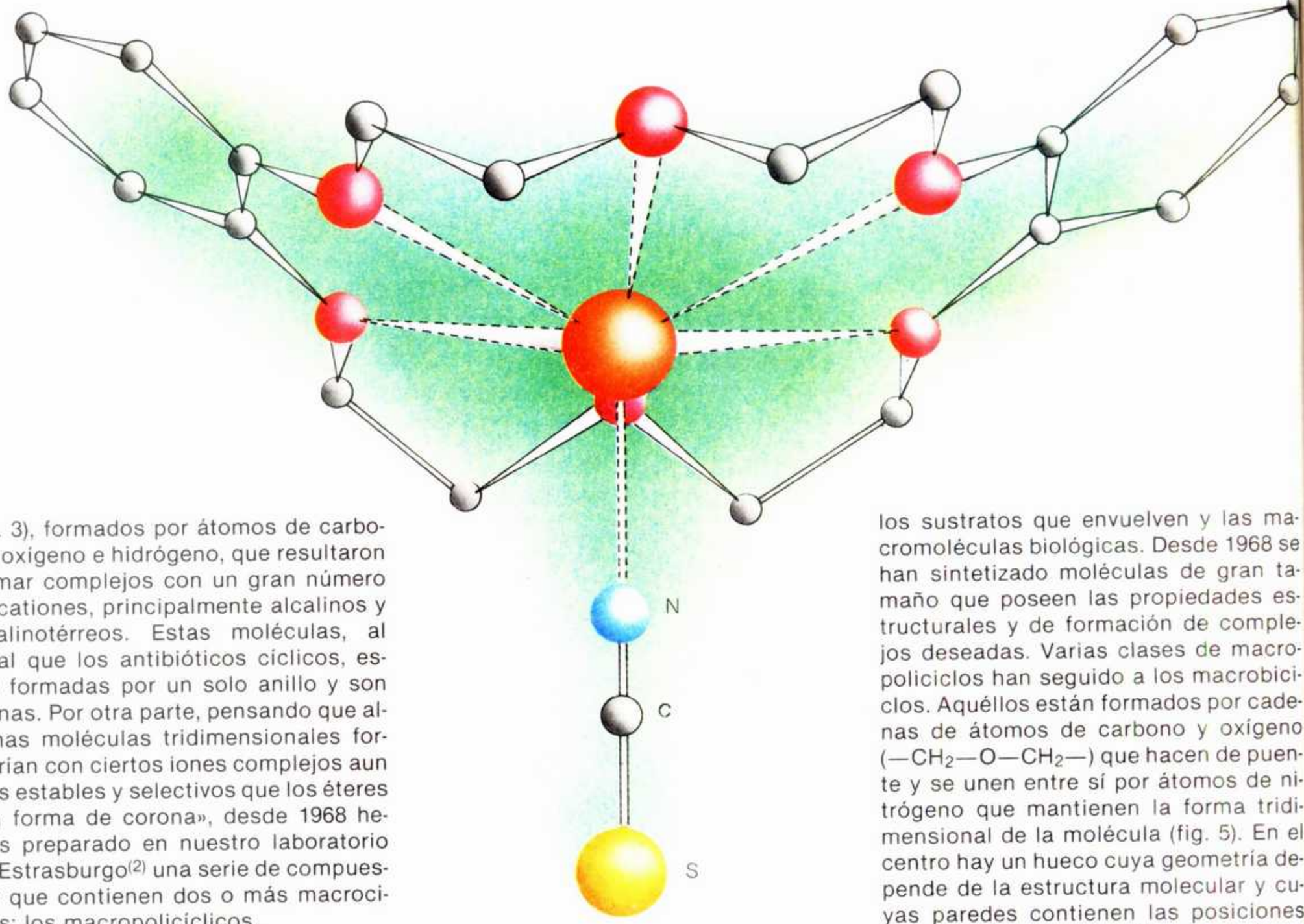


Figura 3. **Los compuestos coronados cuentan entre los primeros macrociclos sintetizados por los químicos. En estas moléculas, las cadenas carbonadas están unidas por átomos de oxigeno integrados en funciones «éter» C-O-C. En la cavidad central se colocan iones alcalinos que se unen a los oxigenos.**
El conjunto es un poco más plano, como se puede ver en el complejo del dibenzocoronado con el tiocianato de rubidio. Se recalca que el anión NCS^- que acompaña al catión Rb + (naranja) tiene acceso aún al catión con el que ha formado complejo, al que está directamente unido.

(fig. 3), formados por átomos de carbono, oxigeno e hidrógeno, que resultaron formar complejos con un gran número de cationes, principalmente alcalinos y alcalinotérreos. Estas moléculas, al igual que los antibióticos cíclicos, están formadas por un solo anillo y son planas. Por otra parte, pensando que algunas moléculas tridimensionales formarian con ciertos iones complejos aun más estables y selectivos que los éteres «en forma de corona», desde 1968 hemos preparado en nuestro laboratorio de Estrasburgo[2] una serie de compuestos que contienen dos o más macrociclos: los macropoliciclicos.

Partiendo de los macrobiciclicos se ha desarrollado toda una química de sistemas macropoliciclicos que ha suministrado importantes herramientas a los químicos para avanzar notablemente en dos grandes campos: la química, descubriendo nuevos objetivos químicos y poniendo a punto procedimientos originales fuertemente selectivos, y la bioquímica, posibilitando el diseño de modelos sencillos, que permitan una mayor comprensión de las interacciones entre moléculas biológicas. Por citar algún ejemplo, se puede detectar un catión en una disolución que contenga otros o ver incluso de separar dos isótopos, lo que puede tener importantes aplicaciones prácticas, como veremos más adelante.

La química supramolecular es una química de cavidades

La química molecular es sobre todo una química de moléculas compactas que se resisten a la interpenetración. Todas las funciones (o grupos reactivos) están orientadas hacia el exterior de la molécula. Los diferentes elementos que forman cada molécula están unidos entre sí por enlaces covalentes, o sea, por la compartición de pares de electrones. La reacción química entre dos moléculas consiste en una ruptura y reorganización de estos enlaces covalentes sin que haya habido interpenetración de las moléculas.

Por el contrario, en las supermoléculas, el enlace entre el anfitrión (receptor) y el invitado (sustrato) no es covalente; de hecho, intervienen varios tipos de interacciones. El reconocimiento de un sustrato por parte del receptor implica una doble complementariedad, la de su geometría (dimensiones, forma) y la de sus posiciones de enlace (naturaleza, número, carga, etc). Esto es particularmente importante cuando una especie está contenida en otra y rodeada por ella lo más estrechamente posible. El receptor será, en este caso, una molécula con una cavidad, una molécula cóncava; el sustrato, convexa. La química supramolecular es una química de crestas y valles, una química de moléculas que poseen tanto un interior como un exterior, que compartimentan el espacio. El problema práctico que se plantea a los químicos es el de construir moléculas que tengan huecos.

Las cavidades biológicas, por ejemplo, aquellas presentes en algunos enzimas, se forman a partir de una cadena unidimensional que se repliega sobre sí misma muchas veces en una estructura tridimensional sostenida por varios puentecillos (fig. 4). La química orgánica puede, por sí sola, construir moléculas huecas a partir de un número más pequeño de átomos que mantienen su estructura gracias a la introducción de numerosos puentes y ramas unidos por enlaces covalentes. Debido a su tamaño, estas moléculas se colocan entre los sustratos que envuelven y las macromoléculas biológicas. Desde 1968 se han sintetizado moléculas de gran tamaño que poseen las propiedades estructurales y de formación de complejos deseadas. Varias clases de macropoliciclos han seguido a los macrobiciclos. Aquéllos están formados por cadenas de átomos de carbono y oxígeno ($—CH_2—O—CH_2—$) que hacen de puente y se unen entre sí por átomos de nitrógeno que mantienen la forma tridimensional de la molécula (fig. 5). En el centro hay un hueco cuya geometría depende de la estructura molecular y cuyas paredes contienen las posiciones que servirán de interacción para enlazar el sustrato o invitado. Este último está encerrado en la molécula anfitriona y es inaccesible al medio externo, como si estuviera en una jaula; de ahí, el nombre de *criptato* (del griego *kryptos* = escondite o del latín *crypta* = cavidad, cueva) que le hemos dado al complejo (véase *La Recherche* n.º 40, p. 276, 1971). La jaula, es decir, el propio compuesto macropoliciclico se llama criptando. Parece que estas moléculas macropoliciclicas se adaptan bien al desarrollo de una química supramolecular. Efectivamente, su «plasticidad» arquitectónica y funcional permiten imaginar una gran cantidad de variantes estructurales accesibles a la síntesis química, lo que ofrece un terreno muy fértil a la química de los receptores, de los catalizadores y de los transportadores (fig. 5).

Criptatos que eligen iones

En nuestro laboratorio de la Universidad Louis Pasteur en Estrasburgo, hemos sintetizado toda una gama de compuestos macrobiciclicos que presentan cavidades esféricas (fig. 6). ¿Por qué esféricas? Porque un objeto esférico es una forma geométrica simple, la más simple que se conoce; y el reconocimiento de sustratos esféricos de tamaños diferentes es también el fenómeno más sencillo de reconocer: el problema está en seleccionar una esfera entre una colección de esferas de radios distintos. ¿Cuáles son en química los objetos esféricos? Tenemos los gases nobles: helio, neón, argón, etc., pero sus interacciones con las moléculas son muy débiles. Por contra, los iones monoatómicos, los cationes alcalinos y los

(2) B. Dietrich, J.M. Lehn y J.P. Sauvage, *Tetrahedron Lett.*, 2885, 1969.

alcalinotérreos, así como los aniones halogenuros, que son especies esféricas debido a su estructura electrónica, dan lugar a interacciones más fuertes. Además, ya hemos visto que estos cationes ocupan un lugar importante tanto cuantitativa como cualitativamente en el mundo inorgánico y en el mundo de la materia viva, interviniendo de forma particular en los fenómenos de equilibrio y de intercambio iónicos como, por ejemplo, aquellos que acompañan la transmisión del impulso nervioso, por citar la más alta misión que les ha sido encomendada (véase *La Recherche,* n.º 5, p. 433, 1970). La cavidad interna de los compuestos que hemos sintetizado está tapizada de posiciones de enlace oxígeno y nitrógeno ricas en electrones. En presencia de una sal (sulfocianuro de potasio o cloruro sódico), estas moléculas forman complejos con los cationes (en esta ocasión potasio o sodio) para formar un criptato. El estudio a los rayos X de los criptatos así formados nos muestra que el catión está bien encerrado en la cavidad intramolecular a la que está unido a través de una interacción electrostática entre su propia carga positiva y las posiciones ricas en electrones del O y del N del criptando. El tamaño de la cavidad aumenta o disminuye según se alarguen o acorten los puentes. Así, gracias a tres macrobiciclos que contienen cavidades esféricas de tamaño adecuado, se obtienen complejos muy estables y muy selectivos con los cationes de tamaño creciente litio, sodio, potasio (fig. 6). Si el sustrato es demasiado pequeño no es retenido, si es demasiado grande no puede ser incluido; el catión que se ajuste mejor a la cavidad formará el criptato más estable, realizándose de esta manera la triple complementariedad de forma, tamaño y propiedades electrónicas con la cavidad receptora.

El criptando es, por tanto, una molécula fuertemente selectiva que forma complejos de forma específica con determinado catión alcalino o alcalinotérreo en una disolución que contenga otros. Esta propiedad abre el camino a interesantes aplicaciones: separación de isótopos como los de Li^6 y Li^7, que intervienen en reacciones de fusión nuclear; formación de complejos con iones tóxicos pesados o radiactivos, que pueden ser, así, eliminados del medio o del organismo. W.H. Muller ha demostrado, en ratas, que la gran selectividad del criptando [2.2.2.][3] por el estroncio frente al calcio presente en los organismos en gran cantidad confiere a aquél un gran poder detoxificante frente al estroncio-85. En lo que a nosotros respecta, en 1976 hemos observado otro tipo de criptando que forma complejos muy selectivamente con el cadmio, metal muy tóxico, en el seno de un

(3) Para la nomenclatura de los criptandos y criptatos, véase la figura 6.

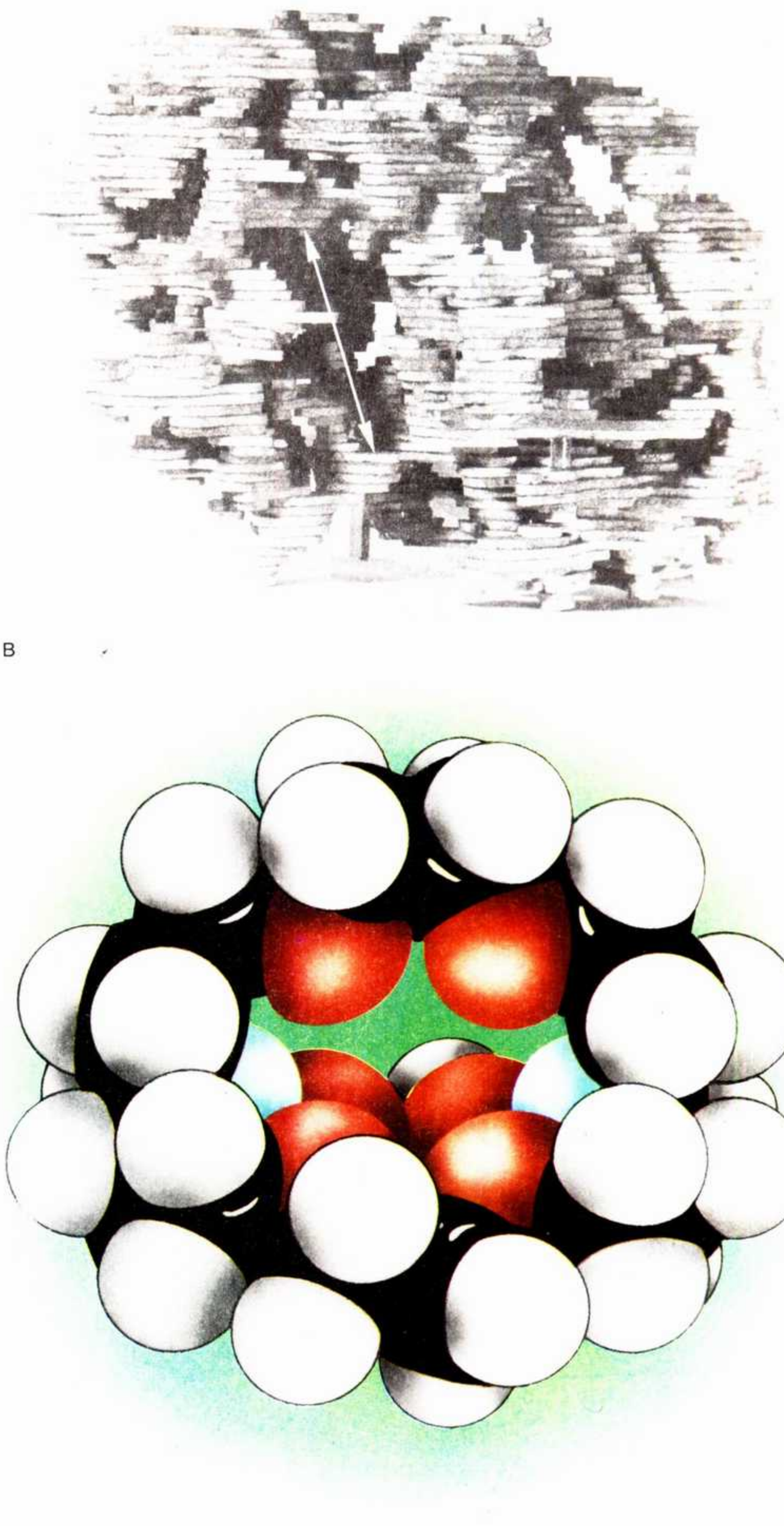
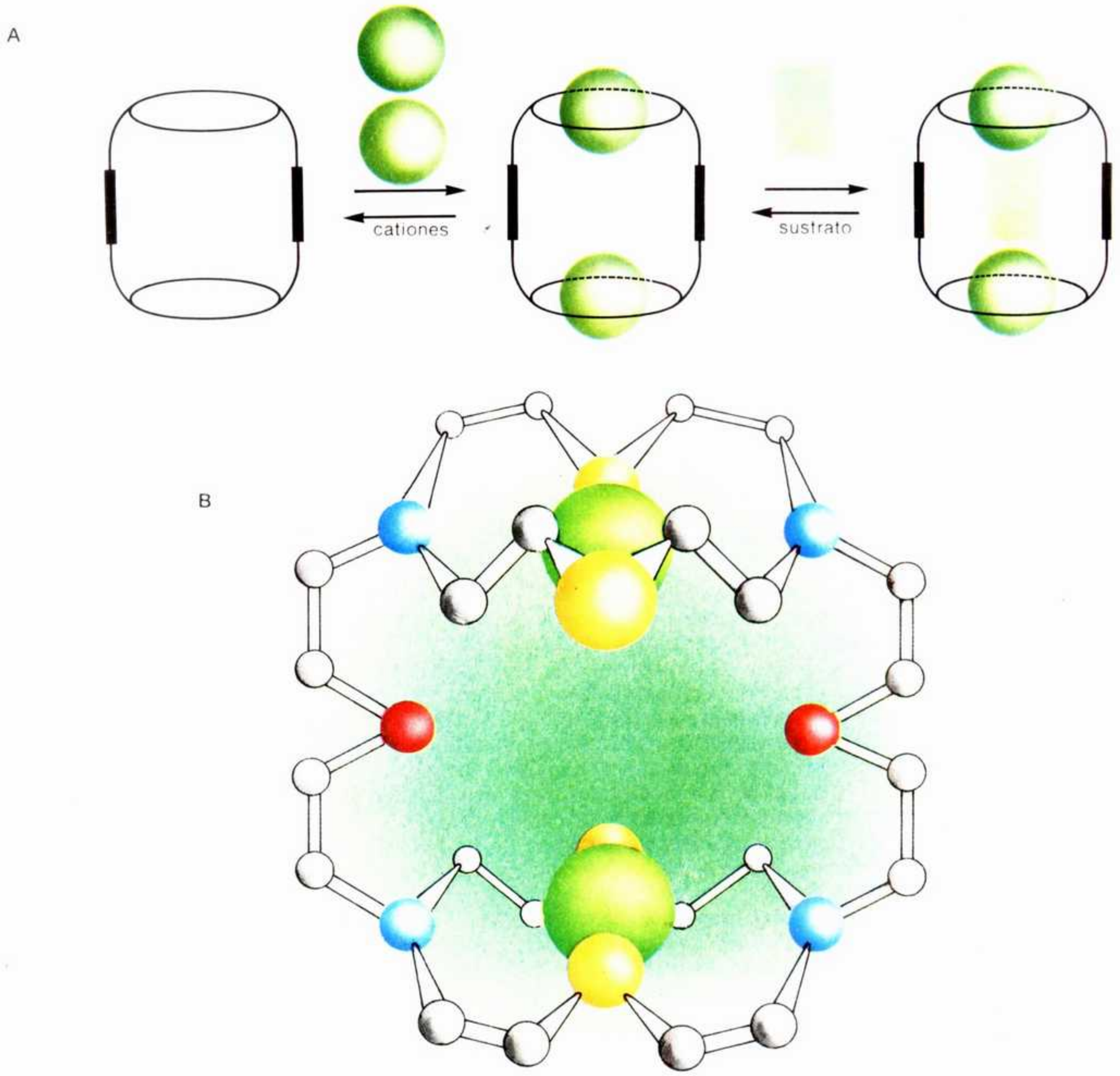


Figura 4. **En los complejos entre enzima y sustrato, la parte receptora presenta una cavidad donde se aloja el sustrato. La estructura tridimensional del enzima** (A) **hace que aparezca una cavidad (flecha) donde se alojará el sustrato; en la representación de un macrobiciclo** (B) **puede observarse la cavidad donde podrá alojarse un catión alcalino.**

Ajustando el tamaño y la carga de la cavidad se puede aislar un ion determinado

La química de los cosistemas

■ El artículo describe algunos aspectos de la química de las asociaciones moleculares, principalmente aquellos que conciernen a los criptatos de iones y moléculas de pequeño tamaño. Es posible formar complejos de sustratos de tamaño mucho mayor, ya catiónicos ya aniónicos, que se fijan al receptor por un grupo de átomos (una función) que sirven de punto de consolidación. Éste es el caso de las sales de amonio $-R\text{-}NH_3^+$ (como derivados de los aminoácidos) que se fijan en posiciones macrocíclicas por el grupo $-NH_3^+$. Estos fenómenos han sido estudiados en nuestro laboratorio, por ejemplo, y en el de Cram, en la Universidad de California, Los Ángeles. Por otro lado, cuando un receptor contiene dos o más posiciones de enlace (como en el caso de los sistemas de las figuras A y B), éstas pueden participar fijando uno o más sustratos. Obtenemos así correceptores que están dentro del marco general de una química de cosistemas que manifiesta nuevas formas, más «elevadas» de comportamiento molecular: la cooperatividad, la alosteria, la regulación por la partición simultánea de varios sustratos en una función dada. A título de ejemplo, la figura C presenta un resultado obtenido recientemente. Un ligando del tipo macrotriciclo, sintetizado en Estrasburgo, forma complejo con una molécula diamónica, la cadaverina $+H_3N-(CH_2)_5-NH_3^+$ (derivada del aminoácido lisina), que se enlaza por los grupos $-NH_3^+$ a cada macrociclo de los dos extremos del receptor cilíndrico. Se obtiene de este modo un verdadero criptato molecular por inclusión completa del sustrato en la cavidad central, tal como nos lo muestra la estructura determinada por radiocristalografía. Basta modificar la distancia de los dos macrociclos para poder formar complejos selectivos con moléculas de distinto tamaño, adecuado al de la cavidad. Cabe esperar así el desarrollo de una rica química de cosistemas, extensible también a la cocatálisis y al cotransporte.[5]



Figuras A y B. **Cuando la cavidad de los macrociclos es capaz de formar complejo con dos iones metálicos, tendrían que poderse fijar sustratos entre los dos cationes. Este proceso (A) nos ilustra el caso de un criptato dinuclear de un ligando cilíndrico (B) representado en el ejemplo. Tales combinaciones podrían servir, de una parte, como transportadores del sustrato fijado y, de la otra, de catalizadores, por activación de la molécula de sustrato (en verde claro) con ayuda de los dos cationes (en verde oscuro).**

(4) J.L. Dye y cols., *J. Phys. Chem.*, *79*, 3065, 1975.
(5) F. Kotzyba-Hibert, J.M. Lehn y P. Vierling, *Tetrahedron Letters*, 941, 1980.

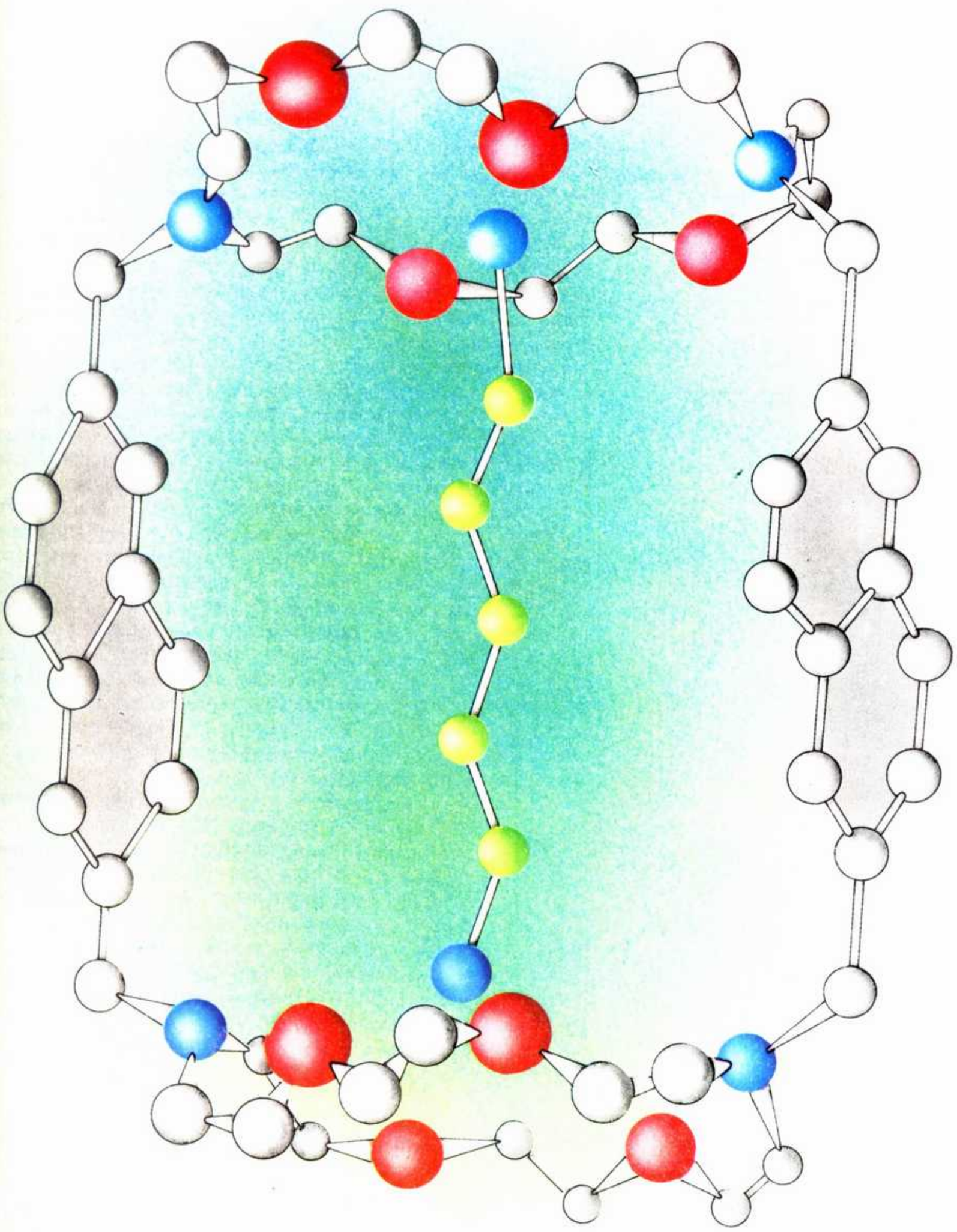


Figura C. **Supermolécula resultante de la inclusión completa en un receptor de tipo macrotriciclico cilindrico del sustrato diamonio $^{+}H_3N\text{-}(CH_2)_5\text{-}NH_3^+$ (cadaverina) que se aferra por sus dos grupos $-NH_3^+$ a los dos macrociclos que forman las bases del cilindro. Este criptato molecular ha sido sintetizado en Estrasburgo, y la estructura presentada aqui ha sido determinada en el laboratorio de radiocristalografia del Instituto quimico de productos naturales del CNRS en Gif-sur-Yvette.**

medio que contenga cinc y calcio, cationes biológicamente importantes.

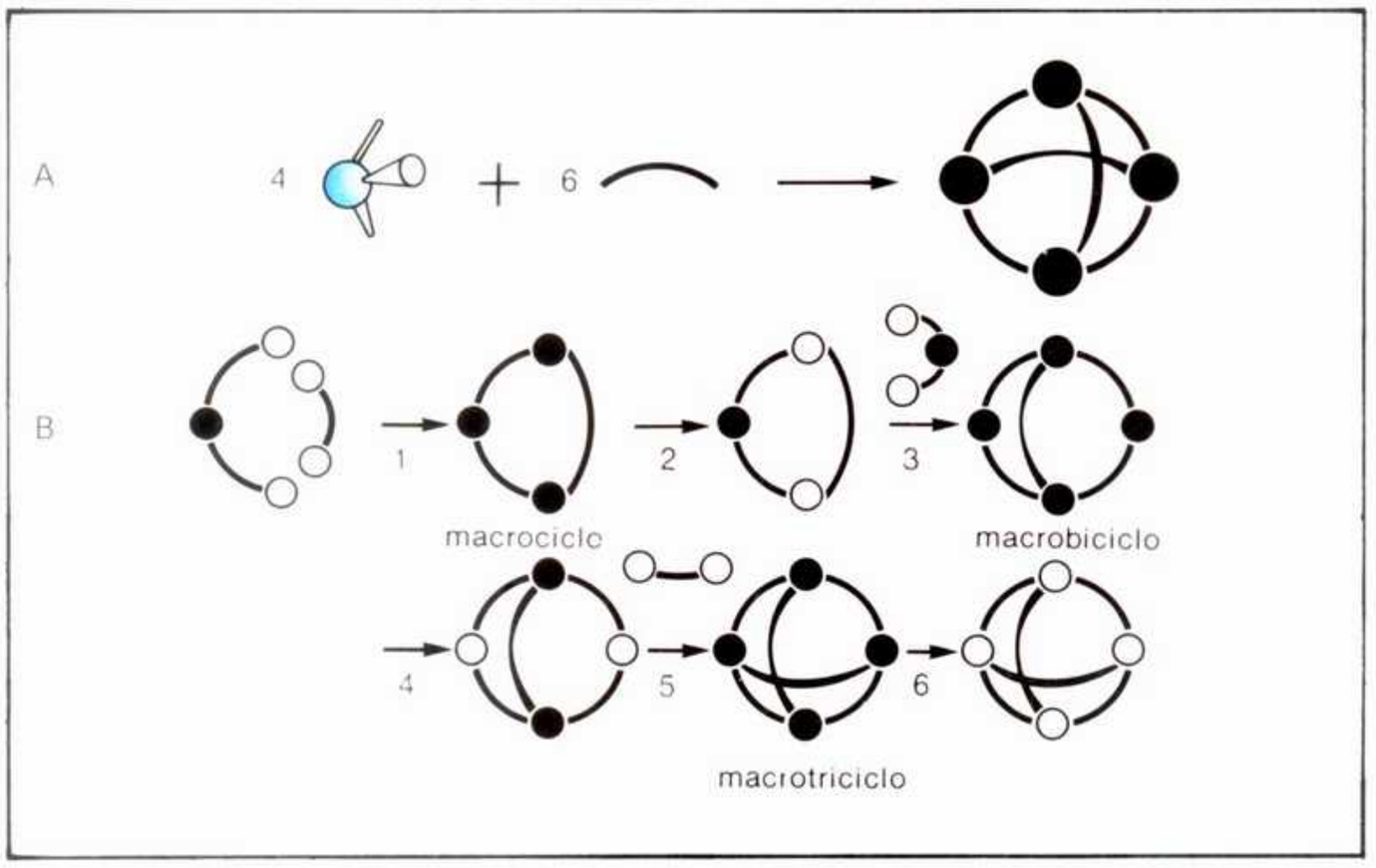
Otros criptandos, preparados con cavidades cargadas positivamente, pueden de este modo incluir aniones (Cl^-,...). Asi ocurre con los catapinatos, moléculas fabricadas por Howard Simmons en 1968, y con los criptandos obtenidos por E. Graf en 1974 en Estrasburgo. Animados por el éxito de los sustratos esféricos, nos tentó la idea de elaborar criptandos capaces de formar complejos, no con moléculas esféricas sino tetraédricas, como el catión amonio NH_4^+ (fig. 7). Este objetivo se acometió en 1975. El complejo obtenido es muy estable y se forma de manera muy selectiva. Es alrededor de un millón de veces más estable que en su estado disociado, en el que la molécula anfitriona y el sustrato se separan. Es de hecho más fuerte y más selectivo que todos los complejos del ion amonio con los receptores naturales conocidos hasta hoy. Moléculas mucho más grandes, del tipo del amonio, también pueden formar complejos en forma de criptatos moleculares.

Efectos químicos de los que se puede obtener provecho

No quisiera hablar del reconocimiento de los sustratos sin mostrar cómo la formación de complejos afecta profundamente a las propiedades moleculares dando lugar a notables efectos químicos. Así, en un trabajo que hizo época, James Dye, de la Universidad del Estado de Michigan, logra en 1974,[4] gracias a la gran estabilidad de ciertos criptatos de sodio, aislar la primera sal de sodio que contiene el anión alcalino Na^-, cuando el ion característico del sodio es el catión Na^+. Se presenta en forma de cristales brillantes de color dorado amarillento. Por otra parte, los compuestos que forman complejos, como los coronados y los criptandos, llegan a romper las interacciones dentro de los cristales y a disolver las sales en medios en los que son totalmente insolubles; por ejemplo, el permanganato potásico en el benceno. Esta propiedad podría ser utilizada en el campo petrolero. En los pozos de perforación se inyectan lodos de sulfato de bario. Muy poco solubles en agua, a veces precipitan y obturan los pozos, haciendo necesario el trabajo de varios días para ponerlos en marcha de nuevo. La formación a través del criptando (2.2.2) del complejo con el bario (fig. 6A) aumenta unas diez mil veces la solubilidad de la sal en agua. Es obvio que la inyección de criptatos dentro del pozo permitiría disolver *in situ* el sulfato de bario.

Otra propiedad química de los criptatos hace que puedan ser considerados no como complejos que contienen un

La supermolécula y el sustrato, dos cómplices que llevan a buen fin una reacción química.



C

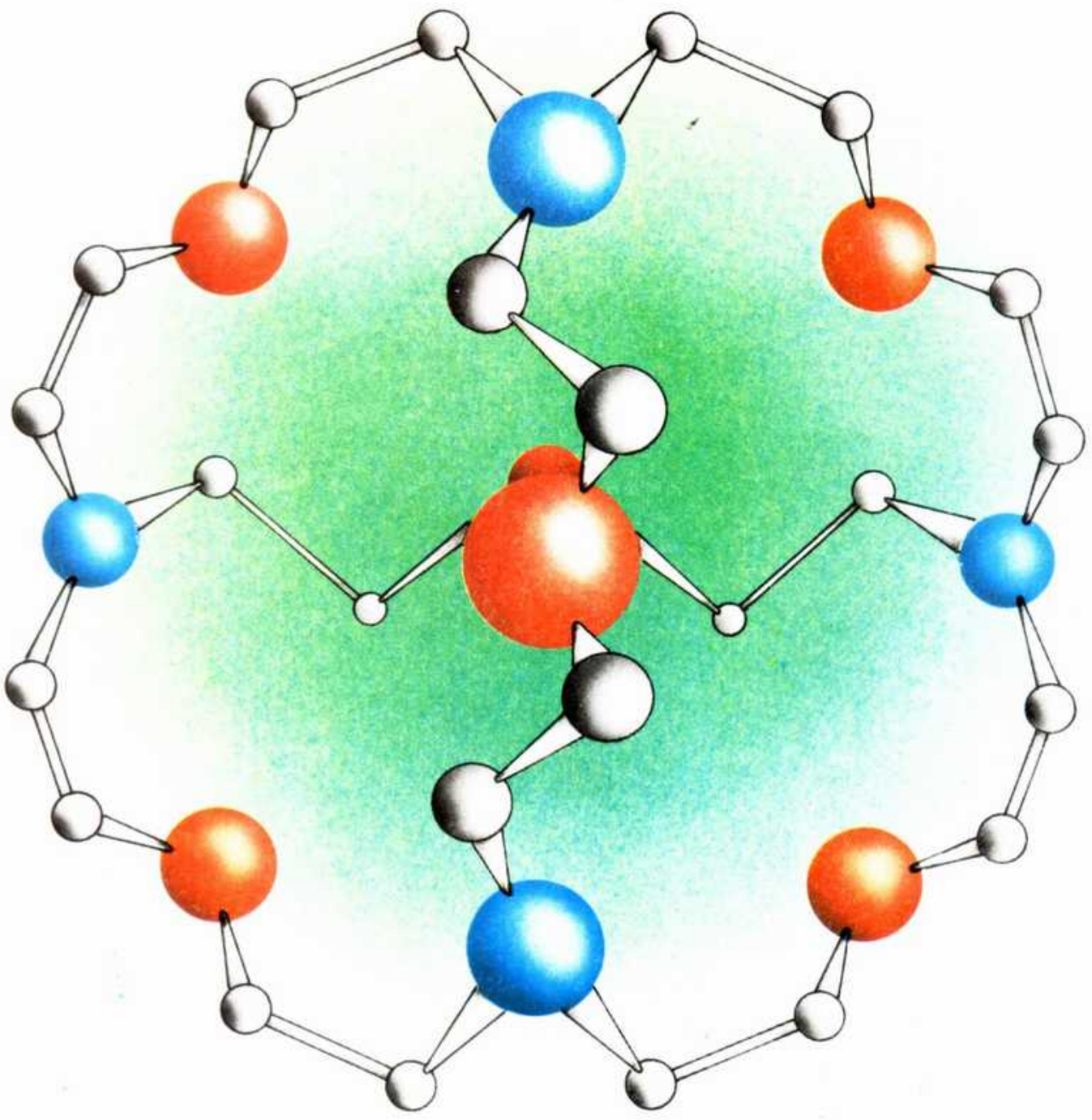


Figura 5. **El juego de construcción, verdadera «manipulación molecular» que permite fabricar una molécula policiclica hueca se compone de elementos ternarios (como un átomo de nitrógeno) y de ramificaciones** (A). **En la práctica** (B), **se fabrica por condensación un macrociclo, figura plana, sobre el que en una segunda etapa se condensa una cadena de varios átomos. Obtenemos asi un macrobiciclo portador de funciones activas, que se utilizan si se quiere complicar el compuesto con una tercera condensación de la que se obtendrá el macrotriciclo. Los círculos blancos y negros representan respectivamente grupos reactivos y funciones cuya reactividad se reserva con ayuda de un grupo protector resistente a las condiciones de la reacción, pero susceptible de ser transportado en un momento dado. De esta manera obtenemos el compuesto** (C) **formado por átomos de oxigeno (en rojo), de nitrógeno (en azul), de carbono (en gris) y de hidrógeno (no representados aquí).**

ion, sino como una especie de sal o un ion muy grande. Una vez que los cationes alcalinos han formado complejo, como si estuvieran rodeados de una gruesa piel molecular, aparentemente constituyen un gran catión de mayor tamaño y menor densidad de carga. De ahí que interaccionen poco con los aniones y con las moléculas del disolvente. Así, un catión como [K⁺C2.2.2], si se asocia con un electrón como anión puede comportarse como un enorme metal alcalino que posea un potencial de ionización bajo, por lo que será fuertemente reductor. El debilitamiento de las interacciones entre anión y catión puede dar lugar también a aplicaciones prácticas. Separado de su compañero e introducido bruscamente en un medio previamente inerte, el anión resulta muy activo y capaz de efectuar reacciones en principio irrealizables, en medios donde de otra manera serían imposibles por falta de solubilidad del o de los reactivos. Así, en el campo de los plásticos, se pueden utilizar estas propiedades de los criptatos para efectuar polimerizaciones, reacciones que a partir de moléculas monómeras permiten obtener macromoléculas o sea polímeros. Por ejemplo, una disolución de tercioamilato de sodio, de estireno y de benceno no da lugar a ninguna polimerización. Si se añade a la mezcla el compuesto [2.2.2] tiene lugar la polimerización y se obtiene el poliestireno. Estas propiedades de activación podrían encontrarse en otros compuestos que hemos sintetizado recientemente y que poseen cavidades cilíndricas o elipsoidales (fig. 8).

Existen otros sistemas con los que los criptatos son capaces de formar complejos moleculares. Pero a menudo se trata de compuestos naturales que no pueden ser cortados a medida. Primeramente es preciso recordar las ciclodextrinas descubiertas en 1903 por Schradinger y de las que Freudenberg estableció la composición entre 1947 y 1950. Son derivadas de azúcares cíclicos naturales, formadas en la degradación del almidón por un enzima de la bacteria *Bacillus macerans*. Las más conocidas contienen seis o siete unidades de glucosa. Las ciclodextrinas delimitan una cavidad intramolecular y poseen la importante propiedad de formar complejos moleculares por inclusión de moléculas orgánicas variadas. Las ciclodextrinas, inmejorables objetos de estudio de los efectos hidrófobos y materiales escogidos para poner a punto modelos de procesos biológicos, han conducido a una gran cantidad de trabajos sobre la formación de complejos y la catálisis molecular, donde son especialmente conocidos Cramer, en Alemania, y Bender y Breslow, en Estados

Unidos. Citaría, sólo para recordar, las interesantes propiedades de los compuestos de inclusión que no existen más que en el estado sólido. Así, los clatratos de la urea: los cristales de urea que poseen en el interior una cavidad cilíndrica donde puede alojarse una molécula huésped por ejemplo, hidrocarbonada. Se pueden separar los hidrocarburos lineales, que forman los clatratos, de los hidrocarburos ramificados, que no pueden entrar en los cristales de urea.

La supermolécula es también un catalizador o un transportador

Todos los ejemplos que acabamos de ver ponen en juego las propiedades de reconocimiento del receptor por un sustrato de forma y medida bien definidas. Pero un receptor, natural o no, puede llevar en más de una posición grupos reactivos capaces de transformar químicamente al sustrato unido, con un buen rendimiento. Esto es lo que se llama un efecto catalítico. En principio se pueden esperar tales efectos de un tipo de moléculas que hemos sintetizado a mediados de los años 60. Se trata de los criptatos *cilíndricos*, donde varios cationes y moléculas pueden formar complejos (fig. 8). Los criptandos están formados por dos macrociclos unidos por dos puentes que delimitan tres cavidades: dos en los macrociclos y una entre éstos y los puentes (figs. A y B del cuadro). Pueden formar complejos «en cascada» tres entidades químicas, por ejemplo dos cationes y una molécula, que podrían facilitar reacciones poniendo en juego transferencias de electrones (reducción del agua, del nitrógeno, etc.), condensaciones, y reacciones cruzadas entre varios sustratos próximos entre sí. Gracias a tales compuestos y a sus complejos, se puede considerar en principio, la posibilidad de activar el nitrógeno del aire o el dióxido de carbono, lo que en este último caso permitirá a la industria química el acceder a una fuente de carbono no fósil. La puesta a punto de los catalizadores moleculares, por adición de grupos activos a un receptor, ha suministrado recientemente vías de acceso al estudio de las etapas elementales de la catálisis, a nuevos reactivos y procesos químicos eficaces y selectivos, y a modelos de enzimas o «enzimas artificiales» que permiten analizar detalladamente su mecanismo de acción (fig. 9).

El receptor puede además poseer agrupaciones, lo que le permite disolverse en las grasas o lípidos, por ejemplo en el interior de una membrana donde entonces podrá servir como transportador del sustrato (fig. 10). La fabricación de tales moléculas debe permitir

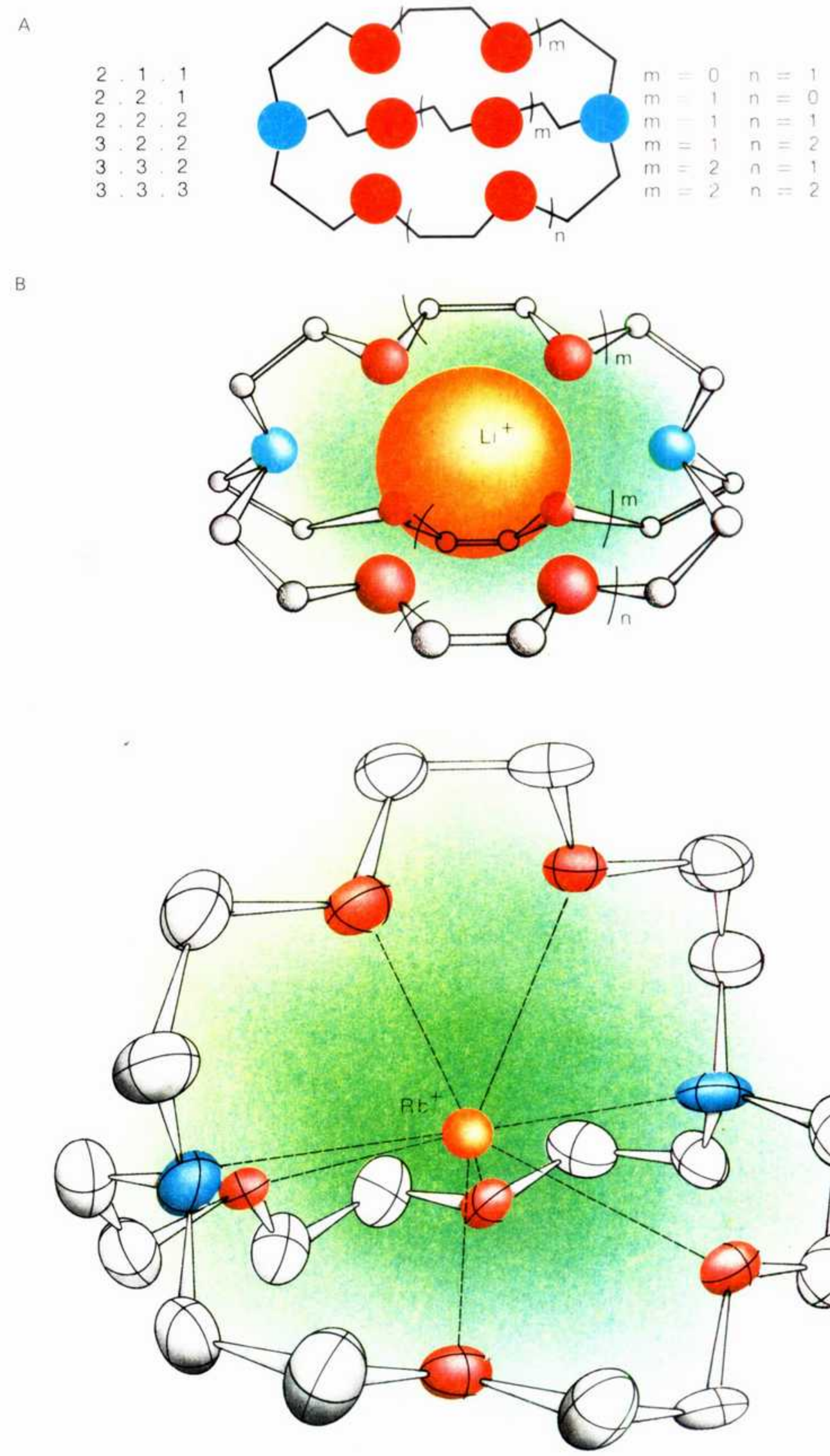


Figura 6. **Los macrobiciclos son moléculas que presentan cavidades esféricas, pudiendo por ello reconocer cationes esféricos. Jugando con la longitud de los puentes que unen los átomos de nitrógeno (haciendo variar m y n), se modifica el tamaño de la cavidad para convertirla en receptora apta para tal o cual ion** (A). **Asi, la molécula formará complejos preferentemente con el ion Li^+ para m = 0, n = 1, con el ion Na^+ para m = 1, n = 0 y con el ion K^+ para m = n = 1. La nomenclatura se fundamenta en el tamaño de cada cadena, indicando el número de oxigenos presentes. El criptando correspondiente a m = 0, n = 1 se escribirá [2.1.1] y el criptato** (B) **que forma con el litio [Li^+C.2.1.1]. El compuesto [2.2.2] se ha utilizado para secuestrar el estroncio radiactivo y eliminarlo del organismo de las ratas contaminadas. El remplazamiento parcial o total de los oxigenos por átomos de nitrógeno o de azufre permite modificar considerablemente las propiedades de los criptandos, formando complejos selectivamente con otros cationes (concretamente con los de los metales de transición), o estabilizar estados de oxidación inusuales de estos cationes. La figura** (C) **representa la estructura del criptato formado por el compuesto [2.2.2] con el catión rubidio Rb^+; esta estructura ha sido determinada en el laboratorio de cristaloquímica de la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo.**

La naturaleza: inagotable fuente de imaginación para los químicos supramoleculares.

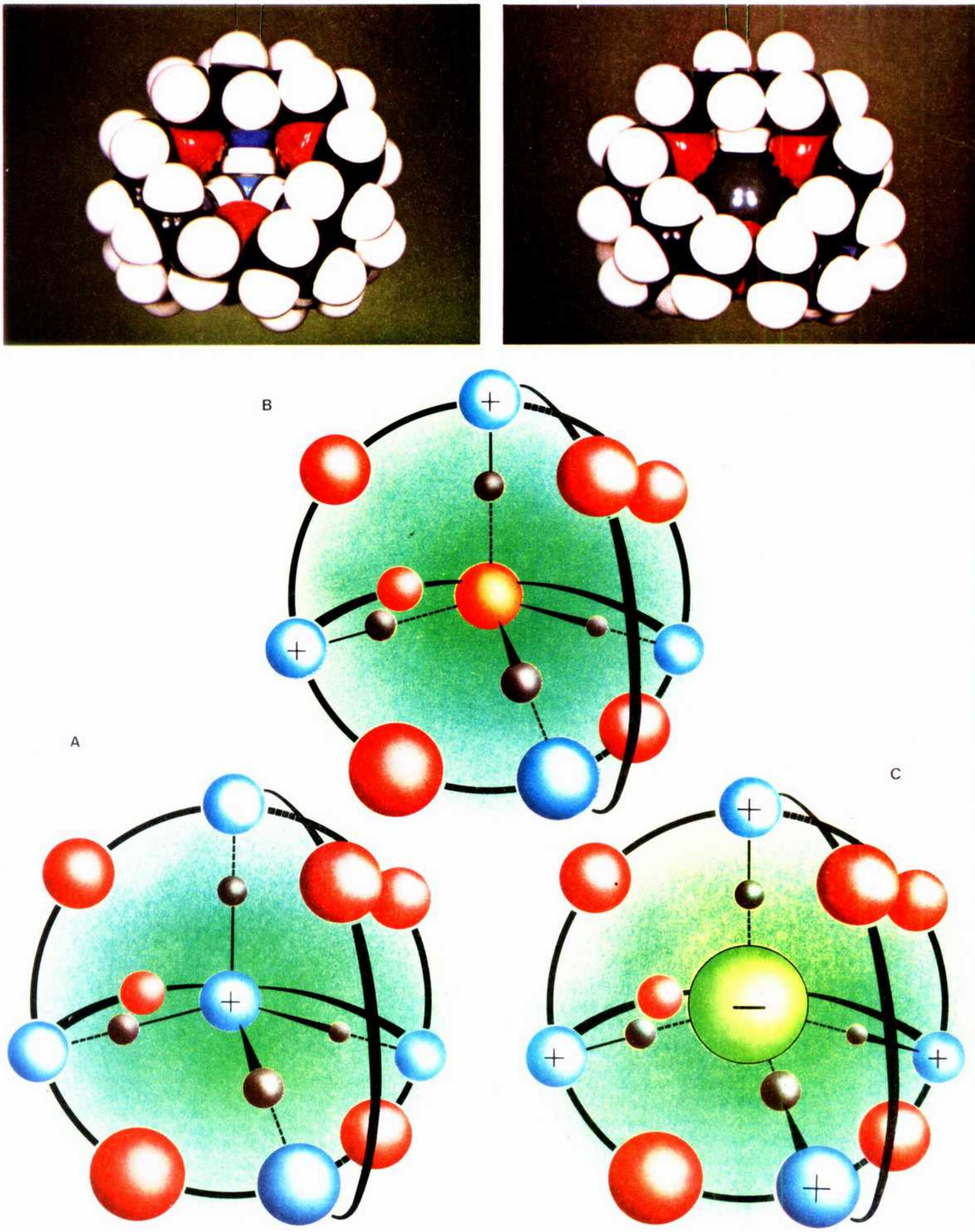


Figura 7. **En vez de jugar con el tamaño de la cavidad, se pueden manipular químicamente las posiciones de formación de complejos, fijando por ejemplo protones en los átomos de nitrógeno de la molécula. Podría obtenerse así selectivamente criptatos con moléculas de geometría tetraédrica (fotos). Por ejemplo, el macrotriciclo que forma complejo con el ion amonio NH_4^+ por interacción con las posiciones nitrogenadas** (A) **cobijará a la molécula neutra de agua (H_2O) en su forma doblemente protonada** (B), **y al anión cloruro (Cl^-) en su forma tetraprotonada** (C).

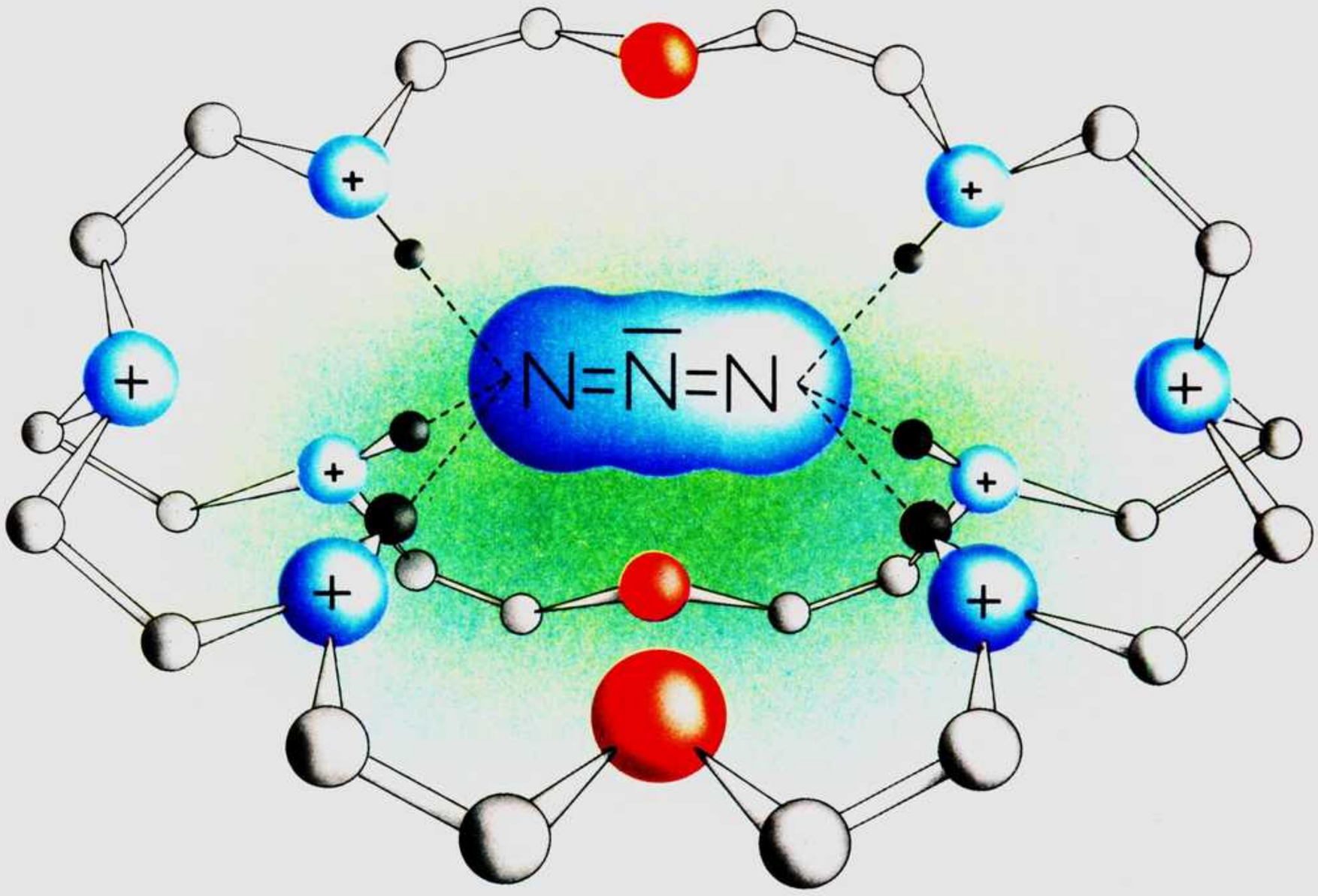


Figura 8. **Los macropoliciclos son moléculas que pueden albergar uno o varios huéspedes según el tamaño y posición de los enlaces de la cavidad. El caso más simple es el del ion esférico. Sin embargo, hay criptatos que encierran moléculas. Nosotros hemos sintetizado recientemente uno que contiene una molécula lineal, el anión triatómico N_3^-.**

estudiar las etapas elementales de la transferencia de fase y los diversos mecanismos de transporte, desarrollar nuevos transportadores y nuevos procesos selectivos, poniendo a punto procedimientos de separación, de purificación y de extracción, así como construir modelos de procesos de transporte a través de membranas biológicas. Se han llevado a cabo diversos procesos de catálisis y de transporte moleculares, pero su discusión sobrepasaría el marco de este artículo, cuyo objeto es la etapa de formación de complejos previa reacción o transporte.

Imitar la química del ser vivo y ampliar el campo

La química de las supermoléculas, basada al igual que la bioquímica en nociones de reconocimiento e interacción, mantiene estrechas relaciones con la biología a través de sus dos subdisciplinas, la química biomimética y la química abiótica. La química biomimética tiene por objeto poner a punto sistemas sintéticos reproductores de estructuras, de reacciones, de funciones presentadas por los sistemas biológicos. Se trata pues de identificar, de simplificar, de imitar, de reproducir la química del ser vivo para comprenderla y utilizarla mejor. Estos modelos permiten aislar de su contexto biológico una posición reactiva dada y estudiar su funcionamiento independientemente de todas las variables debidas a la interdependencia de gran cantidad de funciones en el sistema biológico completo. La Química bioorgánica y bioinorgánica se esfuerzan en reproducir *in vitro* un proceso biológico en su totalidad o en parte; de este modo, a partir de sistemas tremendamente eficaces, formados en los organismos vivos durante el proceso evolutivo, permiten extraer los conocimientos que facilitarán el desarrollo de sistemas sintéticos tan eficaces como los anteriores y adaptables además a un problema dado.

Antes hemos visto ya una molécula sintética que era mejor receptor para el ion amonio NH_4^+ que los receptores naturales. ¿Formarán complejos algún día los amonios cuaternarios presentes en las moléculas de neurotransmisores, como la acetilcolina, verdaderos relés químicos del impulso nervioso? Poniendo a punto un receptor artificial de tales sustratos, no sólo lograríamos hacer avanzar la química supramolecular, sino que además suministraríamos valiosas indicaciones en cuanto a mecanismos de fijación de la acetilcolina sobre sus receptores biológicos, presentes en el sistema nervioso y estudiados actualmente por J.P. Changeux y su equipo del Collège de France.

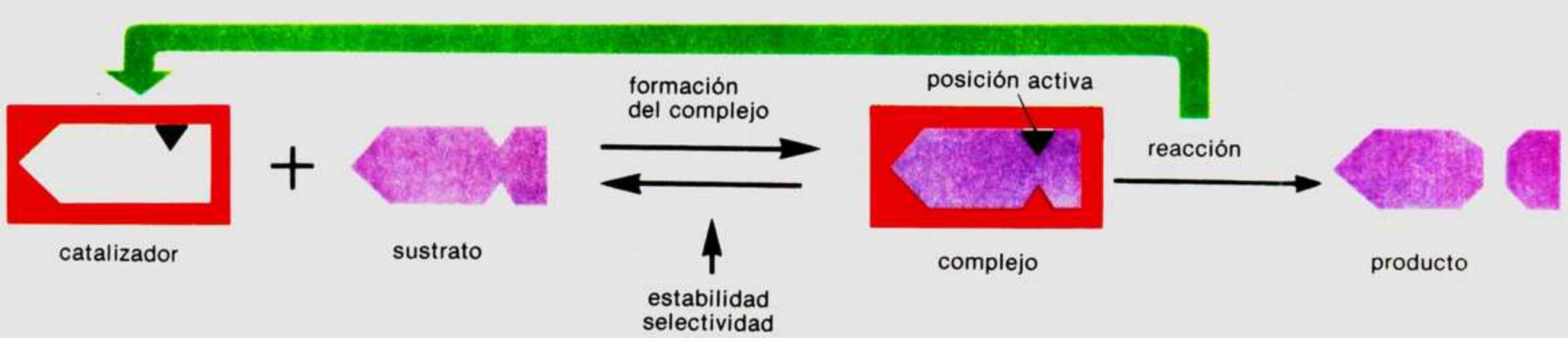


Figura 9. **Esta figura nos presenta las etapas elementales de la catálisis molecular, de la que recientemente se han realizado varios ejemplos. Se inicia con la fijación selectiva del sustrato, que es inmediatamente transformado por los grupos reactivos del catalizador; los productos formados se disocian del catalizador liberando las posiciones activas para la fijación de un nuevo sustrato listo para ser transformado. Este mecanismo sirve de modelo principalmente a dos tipos de reacciones enzimáticas: la hidrólisis y la transferencia de hidrógeno.**

Más allá de la química molecular, la química de los sistemas químicos en interacción.

Los estudios biomiméticos han sido particularmente intensos estos últimos años, sobre todo en el campo de los complejos metálicos naturales, como las proteínas que contienen cobre, o las porfirinas, moléculas unidas a metales como el hierro y que forman parte de la hemoglobina o de los citocromos. Han sido elaborados compuestos sintéticos análogos a las porfirinas como modelos del funcionamiento de la hemoglobina, del citocromo P-450, etc. Su resultado ha sido una mejor comprensión, aunque parcial, de los mecanismos e interacciones puestas en juego.

El objeto de la química abiótica, por el contrario, no es imitar la química de la vida para comprenderla mejor, sino elaborar estructuras, catalizadores (moleculares o no) y transportadores sintéticos que efectúen otras funciones que no sean las conocidas para los sistemas biológicos, con una eficacia y selectividad comparables. Se basa en los resultados obtenidos en los estudios biomiméticos para ir aun más lejos. Extrae argumentos para desarrollar sistemas artificiales, donde se controlarán las funciones a través de la estructura, configuración, etc. de las moléculas y supermoléculas que los componen. No sometida más que a las barreras que ella misma se impone, la química abiótica puede inventar más libremente sistemas y procesos nuevos. Nos encontramos de nuevo con la idea de Marcelin Berthelot de que el campo de la química es más amplio que el de los sistemas ocurrentes en la Naturaleza.

Entre los problemas en busca de solución estaría la fijación del gas carbónico en la fotosíntesis o el del nitrógeno en ciertas bacterias. Actualmente, la química no sabe efectuar estas reacciones en condiciones tan moderadas como las de la naturaleza (25 °C, presión atmosférica, luz solar). El entender sus mecanismos y saberlos reproducir *in vitro* permitiría contemplar una fotosíntesis artificial con un rendimiento energético más elevado que en el proceso natural (para el que no es más del 2 %, ya que una gran parte de la energía solar recibida por la planta sirve para evaporar el agua), o producir abonos nitrogenados con un rendimiento energético mejor que el del proceso haber utilizado actualmente en la industria para obtener amoniaco con un gran consumo de energía.

Los múltiples intercambios entre las investigaciones biomiméticas y abióticas deberían desempeñar un importante papel en la evolución de una química más eficaz, más selectiva, más económica desde el punto de vista energético y menos contaminante, una química poco agresiva que será, esperemos, la química del futuro.

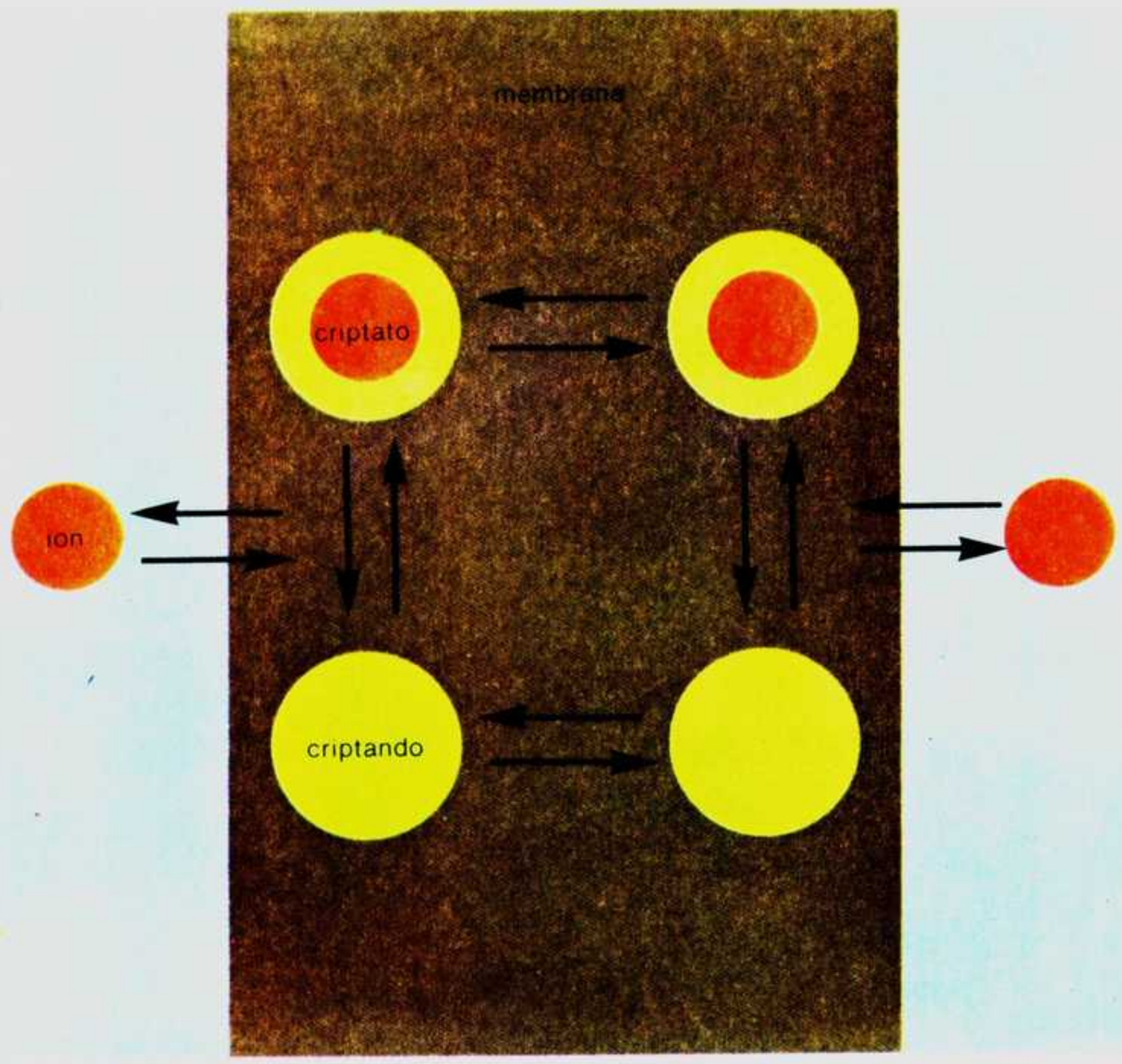


Figura 10. **Un criptato puede servir como transportador de iones a través de una membrana. El criptando (en verde), gracias a sus grupos liófilos, es soluble en los lípidos de la membrana. Capta al ion en el medio acuoso exterior a la membrana (por ejemplo en el exterior de una célula). El criptato migra dentro de la membrana y libera al ion en el medio acuoso del otro lado de aquélla (por ejemplo, en el interior de una célula).**

La química de especies como base de la química de sistemas

Sin embargo, la química supramolecular no se limitará a la química de los éteres en corona, de los criptatos y de otros macrociclos. Otros campos también prometen, como los de las asociaciones polimoleculares que forman micelas, películas o membranas. El desarrollo de diversas ramas de la química, concretamente la manipulación de asociaciones moleculares y la fisicoquímica de sistemas colectivos podrían llevarnos a una química de sistemas organizados e «informados», que presenten propiedades de almacenamiento y transferencia de informaciones, de regulaciones, de operaciones a nivel molecular, es decir, a una especie de electrónica e informática molecular, una «quimiótica», apelando a un conocimiento interno de las interacciones que regulan las asociaciones moleculares, su dinámica y sus transformaciones. Estas perspectivas todavía quedan lejos, pero abren nuevos horizontes que justifican ampliamente la empresa: sistemas moleculares regulados, informados, cooperativos, ¡y por qué no, capaces de autorreproducirse! La química de los cristales líquidos (estudiada en los laboratorios de P.G. de Gennes y de J. Jacques en el Collège de France) y la de las películas moleculares, junto con los trabajos de Hans Kuhn del Max Planck Institüt de Göttingen sobre la síntesis controlada de conjuntos organizados formados por capas superpuestas, ya son aproximaciones que prometen. El conjunto de trabajos realizados nos lleva a hablar en términos de sistema, de ahora en adelante, al referirnos a la química supramolecular. Asistimos al florecimiento de una química de sistemas y de funciones a partir de una química de especies, moléculas, iones y átomos. ■

Para más información:

■ J.M. Lehn, *Structure and Bonding*, vol. 16, Springer Verlag, Berlín, 1973.
■ *Images de la Chimie*, CNRS, 1980.
■ J.M. Lehn, Leçon inaugurale, Collège de France, 7 marzo, 1980.
■ J.M. Lehn, *Accounts of chemical research, 11:* 49 (1978).
■ J.M. Lehn, *Pure and Applied Chemistry, 50;* 871, (1978); 51, 979 (1979); *52,* 2303 y 2441 (1980).

102 MATERIAS

DICCIONARIO DE TERMINOS CIENTIFICOS Y TECNICOS

- ACUSTICA
- AGRICULTURA
- ANATOMIA
- ANTROPOLOGIA
- ARMAMENTO
- ARQUITECTURA
- ARQUITECTURA NAVAL
- ARQUEOLOGIA
- ARTES GRAFICAS
- ASTROFISICA
- ASTRONOMIA
- BIOFISICA
- BIOLOGIA
- BIOLOGIA MOLECULAR
- BIOQUIMICA
- BOTANICA
- CARTOGRAFIA
- CIENCIA Y TECNOLOGIA
- CITOLOGIA
- CLIMATOLOGIA
- COMUNICACIONES
- CONSTRUCCION
- CRIOGENIA
- CRISTALOGRAFIA
- ECOLOGIA
- ELECTRICIDAD
- ELECTROMAGNETISMO
- ELECTRONICA
- EMBRIOLOGIA
- ESPECTROSCOPIA
- ESTADISTICA
- FISICA DE ESTADO SOLIDO
- EVOLUCION
- FARMACOLOGIA
- FISICA
- FISICA ATOMICA
- FISIOLOGIA
- FISICA DE PARTICULAS
- FISICA DEL PLASMA
- FISICA NUCLEAR
- GENETICA
- GEODESIA
- GEOFISICA
- GEOGRAFIA
- GEOLOGIA
- GEOQUIMICA
- HIDROLOGIA
- HISTOLOGIA
- INFORMATICA
- INGENIERIA
- INGENIERIA ACUSTICA
- INGENIERIA AEROESPACIAL
- INGENIERIA DE ALIMENTACION
- INGENIERIA CIVIL
- INGENIERIA DE DISEÑO
- INGENIERIA MECANICA
- INGENIERIA DE MINAS
- INGENIERIA DEL PETROLEO
- INGENIERIA QUIMICA
- INGENIERIA DE SISTEMAS
- INMUNOLOGIA
- LAPIDÁRIA
- MATEMATICAS
- MATERIALES
- MECANICA
- MECANICA CUANTICA
- MECANICA ESTADISTICA
- MECANICA DE FLUIDOS
- MEDICINA
- METALURGIA
- METEOROLOGIA
- MICOLOGIA
- MICROBIOLOGIA
- MINERALOGIA
- NAVEGACION
- NUCLEONICA
- OCEANOGRAFIA
- OPTICA
- ORGANIZACION INDUSTRIAL
- PALEOBOTANICA
- PALEONTOLOGIA
- PATOLOGIA
- PATOLOGIA DE LAS PLANTAS
- PETROLOGIA
- PSICOLOGIA
- QUIMICA
- QUIMICA ANALITICA
- QUIMICA FISICA
- QUIMICA INORGANICA
- QUIMICA ORGANICA
- RELATIVIDAD
- RELOJERIA
- SILVICULTURA
- SISTEMATICA
- SISTEMAS DE CONTROL
- TERMODINAMICA

Una obra excepcional por su valor y utilidad

McGRAW-HILL marcombo

ESTA OBRA COMPRENDE:

- MAS DE 100.000 TERMINOS EN CASTELLANO
- 102 MATERIAS
- MAS DE 3.500 ILUSTRACIONES
- 5 VOLUMENES FORMATO 22 x 28 CMS
- 2.952 PAGINAS

Incluyendo ademas

VOLUMENES I-II-III y IV

VOLUMEN V

DOBLEMENTE UTIL por ser enciclopédico, con expresión de la clasificación de la materia a que pertenece el término y su explicación, y por ser vocabulario español-inglés e inglés-español. Además contiene apéndices con datos de gran interés, tales como una relación alfabética de los grandes científicos universales, con indicación de sus datos biográficos más relevantes.

Con la garantia: BOIXAREU EDITORES

marcombo, s.a.
BOIXAREU EDITORES

D. _____

Domicilio _____

Población _____ D.P. ____ Provincia _____

Desea recibir más amplia información sobre el "Diccionario de Términos Científicos y Técnicos" de Boixareu/McGraw-Hill.

Firma

El CERN y su relación con España

por Pedro Pascual

Pedro Pascual es catedrático de Física Teórica de la Universidad de Barcelona y miembro del Comité Europeo de Futuros Aceleradores

■ El 8 de setiembre de 1981 tuvo lugar en Madrid una reunión de físicos españoles con autoridades del CERN y representantes de partidos políticos para iniciar conversaciones que puedan conducir al reingreso de España en dicho organismo.
■ ¿Qué puede significar para nuestro país la entrada en el CERN? ¿A qué nos obliga? ¿Quedan justificados los gastos que conlleva?

■ Al terminar la segunda guerra mundial, los físicos europeos que trabajaban en el estudio de los componentes fundamentales de la naturaleza se dieron cuenta de que todo avance en esta disciplina exigía gastos de financiación que eran demasiado elevados para las posibilidades económicas individuales de los países del Viejo Continente. Por otra parte, los políticos deseaban promover proyectos interesantes que simbolizaran el nuevo espíritu de unidad europea. No es de extrañar que en este ambiente los físicos empezaran a discutir la posibilidad de un laboratorio europeo; y fue precisamente Louis de Broglie, uno de los creadores de la Mecánica Cuántica, quien expuso por primera vez esta idea públicamente, en la Conferencia Cultural Europea celebrada en Lausana en diciembre de 1949.

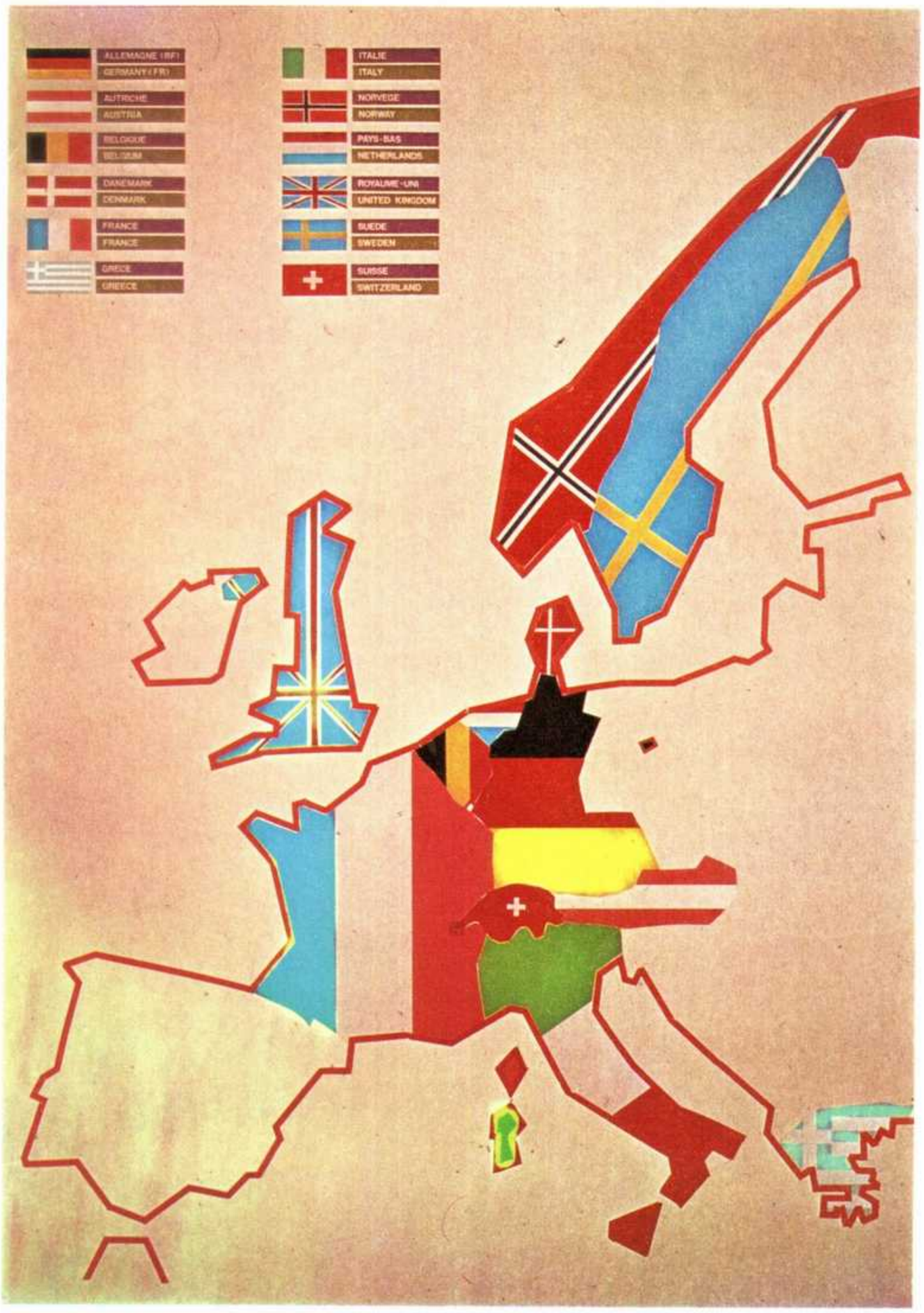


Figura 1. **Mapa de Europa en el que figuran las banderas de los doce países miembros del CERN en la actualidad (Bélgica, Dinamarca, Francia, Gran Bretaña, Grecia, Holanda, Italia, Noruega, República Federal Alemana, Suecia, Suiza y Yugoslavia). España ha sido miembro durante el periodo 1961-1968.**
Yugoslavia fue miembro fundador pero se retiró de esta organización en 1961. (Foto CERN.)

Durante los años 1950 y 1951, patrocinadas por la UNESCO y para estudiar la posibilidad de crear un laboratorio de Física Nuclear europeo, tuvieron lugar una serie de conferencias que cristalizaron en un acuerdo, firmado en Ginebra en febrero de 1952, por el que once países se comprometían a establecer el «Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire» (CERN). Este mismo año Suiza, cerca de la ciudad de Ginebra ofreció los terrenos para el laboratorio. Los años siguientes se dedicaron al estudio de la estructura y programa de la nueva organización, cuya creación tuvo lugar oficialmente el 29 de setiembre de 1954 con el nombre de «Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire», que conservó las siglas CERN, siendo fundadores los países siguientes: Bélgica, Dinamarca, Francia, Gran Bretaña, Grecia, Holanda, Italia, Noruega, República Federal Alemana, Suecia, Suiza y Yugoslavia. En 1959, Austria entró a formar parte del CERN y lo mismo hizo España en 1961; sin embargo, nuestro Estado se retiró en 1969, como lo hiciera antes Yugoslavia, alegando razones de orden económico.

El 10 de junio de 1955 se iniciaron las obras del nuevo laboratorio en Meyrin, un suburbio de Ginebra, en una superficie inicial de 40 hectáreas, perteneciente al Cantón de Ginebra, ulteriormente ampliada hasta alcanzar casi 600 hectáreas, la mayor parte de las cuales se encuentran en Francia.

En el Artículo II de la Convención del CERN quedan claramente establecidos sus propósitos en los siguientes términos: «La Organización proveerá a la colaboración entre los estados europeos en investigación nuclear de carácter científico y fundamental y en investigaciones esencialmente relacionadas con ella. La organización no realizará ningún trabajo de tipo militar y los resultados de sus trabajos teóricos y experimentales serán publicados». Quizá para algunos de palabra nuclear, en el texto

anterior, pueda dar origen a confusiones sobre el tipo de Física que se hace en el CERN. En este laboratorio el esfuerzo se centra en la investigación de los componentes fundamentales de la materia y en el estudio de sus interacciones, lo cual implica disponer cada vez de concentraciones mayores de energía; de ahí que hoy acaso sea más apropiado decir que el CERN es un laboratorio de Física de Altas Energías.

Financiación

El presupuesto global del CERN para 1981 es de 610 millones de francos suizos, es decir de unos 30 000 millones de pesetas, y está acordado mantenerlo en la cifra de 617 millones de francos suizos anuales durante los cinco años próximos. Este presupuesto es financiado por los países miembros, proporcionalmente a su Producto Nacional Bruto (PNB), y el porcentaje respectivo de aquél viene dado en la tabla adjunta. A Grecia le corresponde una cifra muy baja, pues sólo interviene en el programa CERN básico.

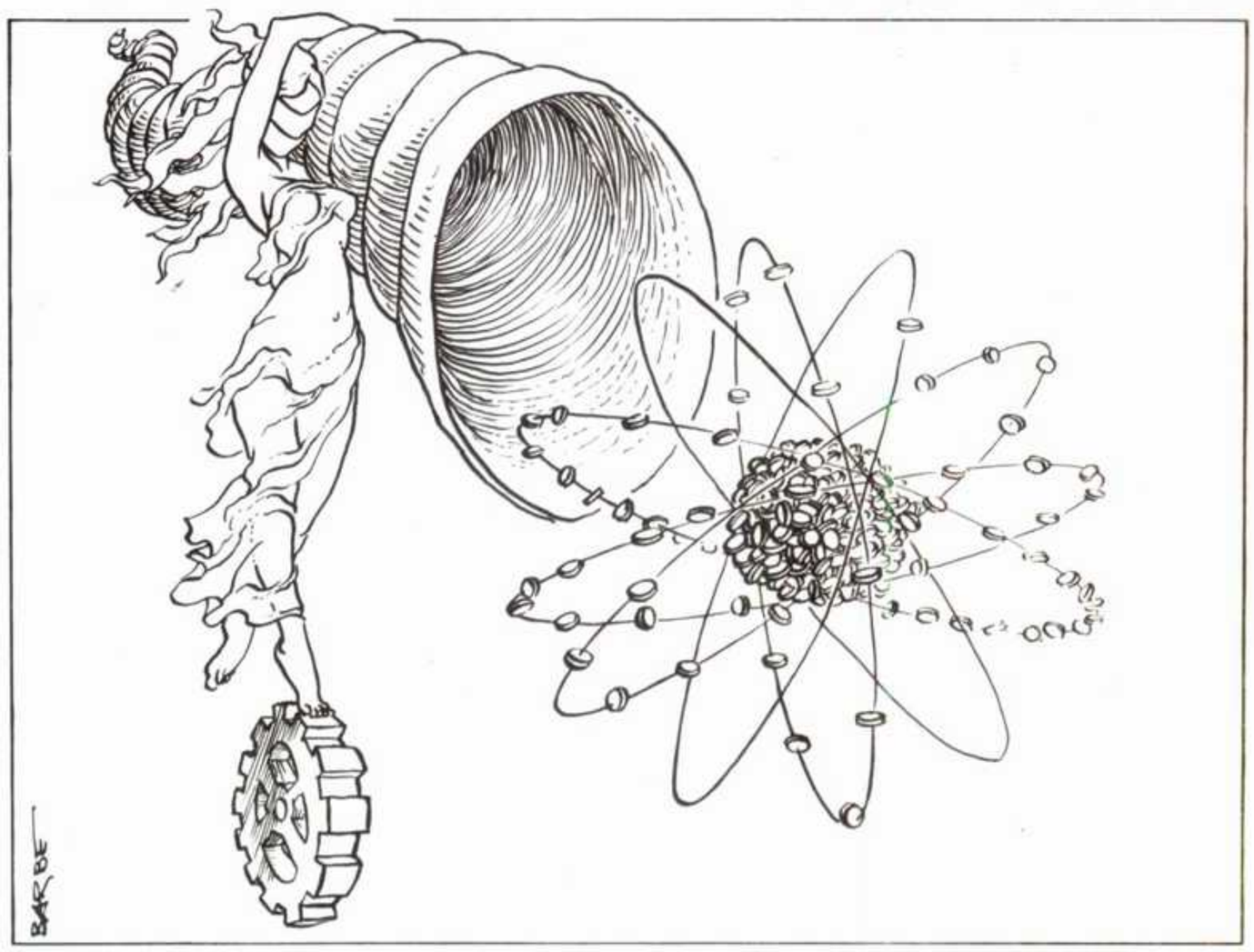
Es evidente que un país miembro no sacará ningún provecho de la cuota aportada si a nivel nacional no se financia una investigación análoga a la que se realiza en el CERN. En 1978 los países miembros gastaron en financiar estos programas nacionales un 90 % del presupuesto del CERN. En Alemania, Francia, Gran Bretaña e Italia los gastos del programa nacional eran iguales a la cuota pagada al CERN, mientras que en los restantes países este programa consumía en promedio, la mitad de su cuota.

¿Qué representa esto frente a los gastos totales de investigación y desarrollo (I + D) de los países miembros? Los gastos totales (programa nacional más cuota CERN) del programa de Alta Energía representa para los países miembros un 0,025 % del PNB. Por otra parte, los gastos totales de I + D de los países miembros ascienden a 1,9 % del PNB, por lo que los gastos totales del programa de Altas Energías representan 1,3 % de los gastos totales de I + D.

Aparte los múltiples beneficios científicos que los países miembros obtienen del CERN, también son muy importantes los de tipo puramente económico. Uno de los principales fines del CERN es poner a disposición de los países miembros material adecuado para realizar investigación básica en sus laboratorios y Universidades. Un 95 % de todo el material que necesita el CERN, que en general implica tecnología muy avanzada, se construye en la industria privada. En la práctica, la mayoría de los contratos necesarios para obtener este material van a parar a las respectivas industrias nacionales y, si bien no existen cuotas, se intenta que a lo largo de los años exista un equilibrio entre las cuotas pagadas al CERN y los contratos obtenidos.

Los beneficios que las industrias pueden obtener de estos contratos se pueden clasificar en dos grandes grupos: aumento en el valor añadido y reducción de gastos. En el primer grupo se incluyen: ventas de nuevos productos desarrollados y puestos en producción debido a un contrato con el CERN; más ventas, ya que la calidad del producto aumenta en razón de las rigurosas exigencias del CERN; ventas de nuevos productos, desarrollados y producidos en colaboración con otras firmas, por contratos con el CERN, etc. En el segundo grupo se incluyen: reducción de costos de producción por la intervención del personal del CERN o la ampliación de mercados; menos gastos I + D de la firma gracias a los trabajos realizados o pagados por el CERN; reducción de los costos de capital en instalaciones, ya que parte de los mismos es cubierta por el contrato CERN, etcétera.

El CERN ha realizado un estudio para cuantificar los beneficios que en razón de sus contratos ha obtenido la industria, encomendándosele a ésta la evaluación pertinente, para obviar así todo posible sesgo. Aunque no nos es posible entrar aquí en el análisis de los resultados de dicha encuesta queremos subrayar que, en promedio, cada franco suizo gastado por el CERN en la indus-



Tanto por ciento de los gastos del CERN pagados por cada uno de los países miembros.

República Federal Alemana	25,00
Francia	21,70
Gran Bretaña	14,13
Italia	12,73
Holanda	6,18
Bélgica	4,66
Suecia	4,30
Suiza	4,13
Austria	2,53
Dinamarca	2,49
Noruega	1,79
Grecia	0,36

El primer acelerador del CERN: un ciclosincrotón de 0,6 GeV.

tria ha producido unos beneficios económicos de 4,2 francos suizos. Es interesante observar que en los contratos correspondientes a mecánica de alta precisión los beneficios obtenidos se estiman en 31,6 veces el valor del contrato, factor que en ordenadores es 17,3. También es necesario mencionar que el 80 % de estos beneficios se deben a ventas realizadas por estas industrias a mercados que no tienen nada que ver con las Altas Energías, tales como ferrocarriles, construcción de barcos, compañías de electricidad, entre otros.[1]

Aceleradores

Ya hemos dicho que una de las misiones principales del CERN es poner a disposición de los países miembros el instrumental necesario para poder realizar investigación básica en el campo de las Altas Energías. Para ir ampliando la frontera de nuestros conocimientos sobre los componentes fundamentales de la materia y sus interacciones necesitamos cada vez energías más elevadas, las cuales se obtienen con unos aparatos llamados aceleradores, donde la aceleración de protones, electrones, etc. mediante campos electromagnéticos genera energías muy elevadas.

Los grandes aceleradores hoy existentes se pueden clasificar en dos categorías: los de blanco fijo y los de colisión de haces. En los primeros se acelera un haz de partículas y se le hace chocar con un blanco fijo, mientras que en los segundos se logra disponer de dos haces acelerados que se hacen chocar en colisión, prácticamente, frontal. A grandes rasgos, la ventaja de los primeros es que se logra mayor número de choques por unidad de tiempo, mientras que en los segundos se logra mayor energía por choque. En los grandes aceleradores la energía alcanzada por las partículas se mide en GeV, donde 1 GeV = 10^9 eV, siendo 1 eV (electrón-voltio) la energía que adquiere un electrón al ser acelerado por una diferencia de potencial de un voltio. Esto implica que 1 GeV $\cong$ 1,6 $\times$ 10^{-10} J (joule).

El primer acelerador del CERN empezó a funcionar el 1 de agosto de 1957 y era un sincrociclotrón (MSC) en el que se podía acelerar un haz de protones hasta 0,6 GeV. Mediante este acelerador se ha desarrollado un programa muy intenso de investigación en Física de Partículas Elementales y en Física Nuclear. Un complemento importante de este acelerador, que entró en funcionamiento en 1967, es el ISOLDE destinado a estudiar núcleos de vida media muy corta. Ya en la Convención inicial se contemplaba la construcción de un sincrotrón (PS) capaz de acelerar un haz de protones hasta una energía de 28 GeV; entró en funcionamiento en setiembre de 1959 y ha sido durante muchos años el eje sobre el que ha girado toda la investigación de la Física de Partículas Elementales en Europa.

En 1965 el CERN decidió montar alrededor del sincrotrón de protones unos anillos de almacenamiento (ISR) que entraron en funcionamiento en 1971, mediante los cuales podían ser estudiadas colisiones protón-protón entre dos haces de protones, cada uno de los cuales se podía acelerar hasta 31 GeV. En energía, ello equivale a un acelerador de blanco fijo en el que el haz de protones se acelerará hasta unos 2 000 GeV. Este aparato, único en el mundo en su género, permitió montar un programa experimental sumamente interesante.

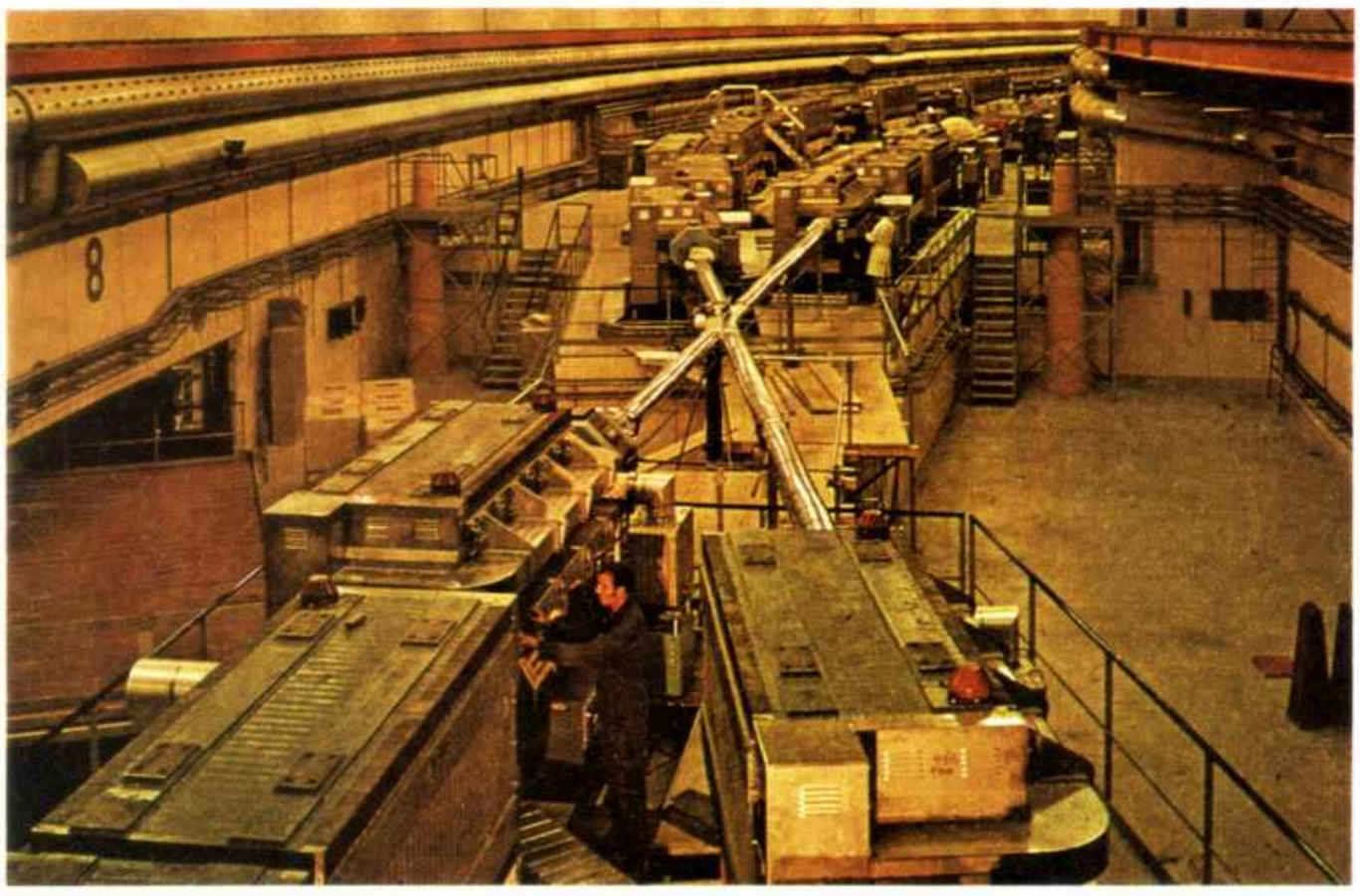


Figura 2. **El CERN es un laboratorio de Altas Energías dedicado al estudio de la estructura fundamental de la materia. En la foto se muestra una perspectiva del acelerador de 400** GeV, **situado en un túnel subterráneo circular, que tiene un diámetro de 2,2 km. Este acelerador junto con el Fermilab, cerca de Chicago, son los mayores del mundo.** (Foto CERN.)

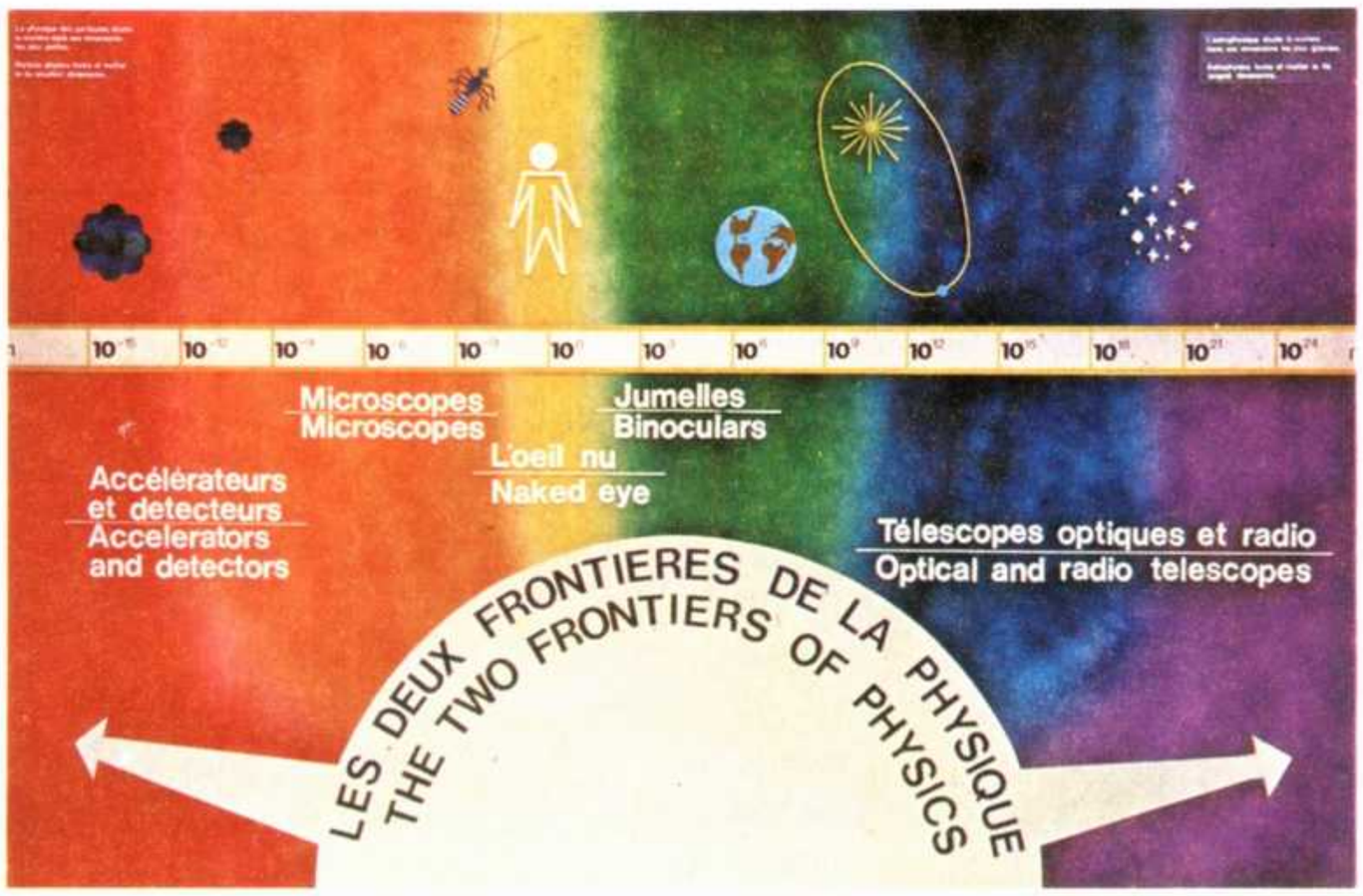


Figura 3. **Las dos fronteras de la Física, el macro y el micro cosmos. Para observar las estructuras más pequeñas se necesitan energías muy elevadas que se obtienen con los aceleradores de partículas. Para grandes distancias son necesarios telescopios ópticos y radiotelescopios.** (Foto CERN.)

(1) H. SCHMIED «A Study of Economic Utility Resulting from CERN Contracts». CERN 75-5.

Figura 4. **Fotografía de una interacción entre partículas elementales en una cámara de burbujas. El haz incide por la izquierda donde colisiona con el blanco. Perpendicularmente al plano de la fotografía hay un campo magnético que hace girar partículas cargadas positivamente en sentido contrario.** (Foto CERN.)

Ya en 1963 se vio que para que Europa se mantuviera en primera línea en las investigaciones de la Física de las Partículas Elementales era necesario emprender la construcción de un nuevo acelerador. En febrero de 1971 se firmaron los acuerdos para construir un supersincrotrón de protones (SPS), que entró en funcionamiento en junio de 1976 y con el que se puede acelerar un haz de protones hasta 400 GeV. Este acelerador tiene un diámetro de 2,2 km y la profundidad media del túnel que lo contiene es de 40 m. Desde el momento en que los protones son inyectados en el SPS hasta que ha finalizado su proceso de aceleración estas partículas recorren algo más de un millón de kilómetros, siendo su velocidad final 0,9988 veces la velocidad de la luz. Sólo los Estados Unidos disponen de un acelerador de características análogas, ubicado cerca de Chicago.

La URSS, por su parte, empezó a construir a principios de la década de los sesenta un sincrotrón de protones de 76 GeV, que cuando empezó a funcionar era el mayor del mundo. En 1967 el CERN firmó un acuerdo con la URSS para desarrollar un programa científico y tecnológico basado en el nuevo acelerador, acuerdo ulteriormente ampliado en el sentido de que en la actualidad grupos de investigadores soviéticos pueden colaborar en las experiencias que se realizan en el CERN.

Usando el SPS del CERN acaba de entrar en funcionamiento un dispositivo experimental para hacer chocar un haz de protones con otro de antiprotones obtenidos por una técnica totalmente nueva llamada de enfriamiento estocástico. Se espera que con esta nueva máquina se pueda confirmar la existencia de los mesones intermedios pesados predichos por la teoría electrodébil, unificadora de las interacciones débiles y electromagnéticas, debida a S.L. Glashow, A. Salam y S. Weinberg, que les hizo merecedores del premio Nobel correspondiente al año 1979.

Nuevos desarrollos en Física Teórica, así como la necesidad de que Europa mantenga su posición en la investigación de la Física de Altas Energías hacen necesario que el CERN empiece pronto la construcción de un nuevo acelerador. Durante estos últimos años se ha venido estudiando el proyecto de un gran acelerador (LEP) para hacer chocar un haz de electrones con otro de antielectrones. Hoy día, el mayor acelerador de este tipo está en el DESY, un laboratorio alemán cerca de Hamburgo, en el que la energía de las partículas de cada haz puede llegar a ser de 38 GeV. El proyecto del CERN está terminado y todos los países miembros han dado ya su aprobación para su construcción. De ser así se piensa que el aparato podría entrar en funcionamiento a finales de 1987 con una energía de 50 GeV por haz, si bien el acelerador se ha optimizado a la cota de 90 GeV por haz, que podría alcanzarse antes de finalizar la presente década. Se piensa construir este acelerador en las inmediaciones del laboratorio actual y estaría contenido en un túnel subterráneo de 27 km de circunferencia.

Personal

En la actualidad el CERN tiene unos 3 500 empleados, la inmensa mayoría de los cuales se ocupan en crear y mantener la infraestructura necesaria para que el CERN pueda dar un servicio de máxima calidad a los países miembros. En realidad sólo un centenar de los miembros de éste se dedican sólo a la investigación teórica o experimental en Altas Energías.

En 1960 sólo había unas cien personas que usaran las instalaciones experimentales del CERN, lo cual representa-

El descubrimiento de las corrientes neutras fue uno de los principales logros del CERN.

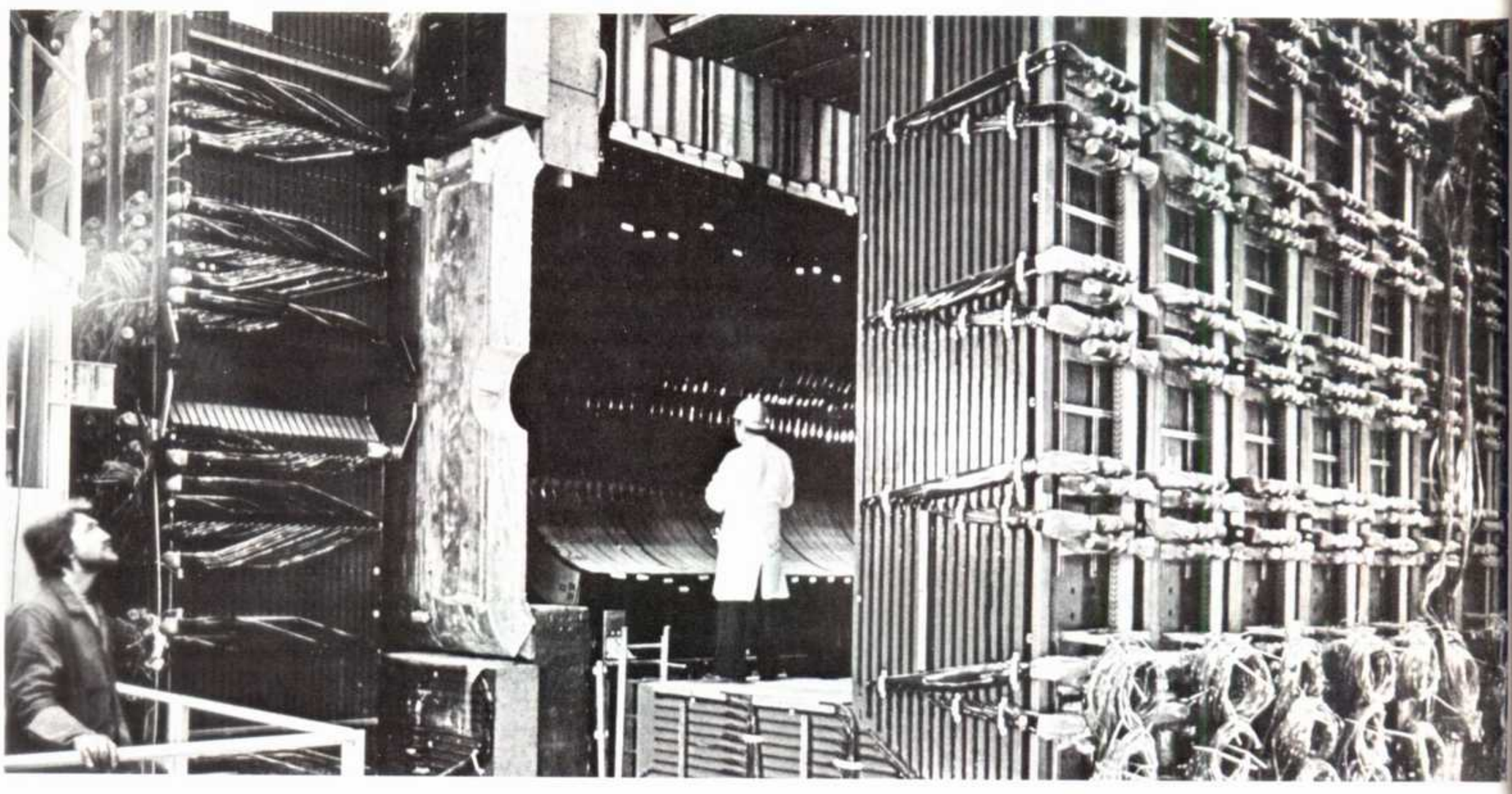


Figura 5. **Durante mucho tiempo uno de los métodos típicos de observación de la aceleración entre partículas elementales, era fotografiar la estela de burbujas que dejaban las partículas cargadas al atravesar un líquido preparado convenientemente en el aparato llamado «cámara de burbujas».** (Foto CERN.)

ba, un usuario, aproximadamente, por cada 10 personas dedicadas al mantenimiento de la infraestructura. El número de usuarios ha ido creciendo continuamente y hoy son ya unos dos mil los físicos europeos que usan el CERN; el personal de mantenimiento no llega, pues, a doblar en número al de usuarios. Esto por sí solo refleja el buen funcionamiento del CERN y cuán sensato fue establecer un laboratorio europeo de investigación equipado con el material necesario para poder desarrollar trabajos de primera línea.

En general, la forma de trabajar es esquemáticamente la siguiente: los científicos interesados en utilizar las instalaciones experimentales del CERN forman grupos que, en la mayoría de los casos, pertenecen a dos o más Universidades o laboratorios europeos. Éstos presentan un proyecto de investigación que consideran interesante. Un comité de usuarios del CERN estudia las posibilidades y prioridades de los proyectos sometidos a examen y da el visto bueno a aquellos que se consideran de mayor interés, los cuales son realizados en el CERN por los componentes del grupo, que se trasladan por espacios de tiempo más o menos largos a dicho laboratorio, acompañados muchas veces por material que ha sido puesto a punto en sus Universidades. Una vez finalizado el experimento, los datos son analizados en las Universidades y laboratorios de origen.

En el CERN existe también una división de teoría en la que al lado de unos veinte miembros de este organismo investigan un centenar de científicos de distintos países, miembros y no miembros, y que permanecen allí un tiempo variable, en general unos meses.

Requeriría un largo artículo el describir los resultados más importantes que se han obtenido en el CERN y me limitaré a enumerar algunos de ellos: descubrimiento de las corrientes neutras, comportamiento de las secciones eficaces a muy altas energías, medidas de alta precisión del momento magnético del muón, estudios muy amplios de átomos exóticos, etcétera.

Relaciones CERN-España

España ingresó en el CERN el 1 de enero de 1961; nos retiramos, exactamente, ocho años después. Al terminar la construcción del PS, el CERN ofreció a nuestro país la posibilidad de ingresar pagando sólo una parte de la cuota de entrada que nos correspondía de acuerdo con sus estatutos. Sin ningún tipo de estudio del compromiso que se adquiría el Gobierno aceptó la oferta. En el momento de ingresar en el CERN, prácticamente no había en nuestro país Física alguna, teórica o experimental, de Altas Energías.

Al amparo del CERN se creó un laboratorio experimental en la Junta de Energía Nuclear, y un laboratorio de la Universidad de Valencia que hasta entonces había trabajado en Bajas Energías empezó a hacerlo en Altas Energías. Por otra arte, la Física Teórica de Altas Energías se desarrolló considerablemente como revela, por ejemplo, el hecho de que en 1968 tuviera lugar en El Escorial el curso que anualmente organiza el CERN para jóvenes investigadores, al cual acudieron un centenar de físicos de 15 países europeos y en el que más del 50 % de las horas lectivas corrieron a cargo de jóvenes profesores españoles de Física Teórica. Tengamos en cuenta que todo esto representó un esfuerzo considerable por parte de los físicos, pues si bien tenían el apoyo del CERN, el gasto que se realizaba dentro de España para promover esta rama de la Física era prácticamente nulo.

Al año siguiente de producirse nuestro ingreso en el CERN, España intentó por primera vez entrar en la Comunidad Económica Europea. El Gobierno creyó que el CERN podría servir de puerta hacia Europa, pero pronto se vio que no era así. El mundo de la industria y el comercio tampoco estaba interesado en aquel entonces en nuevos mercados, pues estábamos en pleno crecimiento económico interior. Si bien las cuotas que España pagó al CERN casi nunca llegaron a ser las que nos correspondían de acuerdo con nuestro PNB, un Gobierno que no entendía la necesidad de la investigación científica no entendió tampoco que se pudiera pertenecer al CERN por motivos puramente científicos; ello ocasionó la retirada de España de dicho organismo, entre una protesta

generalizada de los físicos en nuestro país. Para la Física Teórica la nueva situación no resultó inicialmente tan desfavorable porque recibió una subvención anual equivalente aproximadamente al 10 % de la cuota pagada al CERN, para desarrollar en el ámbito teórico «el mismo tipo de Física que se dejaba de hacer al retirarse del CERN». Para la Física Experimental el impacto de nuestra retirada del CERN se dejó sentir inmediatamente; los grupos de la Junta de Energía Nuclear y el de Valencia se tuvieron que refundir en uno solo, razón por la cual varios de sus componentes tuvieron que emigrar.

En los años que han transcurrido desde 1969 los físicos especializados en Altas Energías han continuado luchando, y gracias a su esfuerzo y a la ayuda totalmente desinteresada que en todo momento ha prestado el CERN existen hoy tres grupos experimentales: uno numeroso en la Junta de Energía Nuclear y dos muy modestos en las Universidades de Valencia y Santander. Por otra parte, el número y la calidad de los físicos teóricos han ido creciendo y la mayor parte de los profesores universitarios de esta especialidad han mantenido o mantienen contactos con el CERN.

El 8 de setiembre de 1981 tuvo lugar en Madrid una reunión de físicos españoles con autoridades del CERN y representantes de partidos políticos para iniciar conversaciones que puedan conducir al reingreso de España en dicho organismo. Claramente se vio que desde el punto de vista científico era necesario romper nuestro aislamiento y que el CERN, con su brillante trayectoria, daba una garantía de que el esfuerzo económico que se hiciera sería bien aplicado. Por otra parte, también parece que debido a la crisis económica que estamos atravesando, la vuelta de España al CERN puede abrir nuevos mercados, hecho en extremo sumamente interesante. El director del CERN prometió hacer todos los esfuerzos necesarios para que no tuviéramos que pagar cuota de reingreso y para que el primer año pagáramos sólo un 20 % de la estipulada para ir aumentándola gradualmente hasta satisfacerla en su totalidad al cabo de ocho años.

Teniendo en cuenta el PNB español, la cuota íntegra de nuestro país representa aproximadamente un 6 % de los gastos del CERN, es decir, unos 1 800 millones de pesetas anuales; si se lograran los deseos del director general del CERN, el primer año deberíamos pagar un 20 % de esta cantidad.

Creo que ni el Gobierno ni la oposición son conscientes de que a largo plazo la única salida de la crisis actual pasa por incrementar los gastos de Investigación y Desarrollo en nuestro país. Basta comparar, nuestra inconsciencia, por ejemplo, con la situación francesa: el recién electo Presidente ha prometido, reiteradamente durante su campaña electoral, aumentar los gastos de I + D desde el actual 1,8 % del PNB hasta el 2,5 % para 1985 (Véase *Mundo Científico* n.º 8, p. 926) y parece ser que ya se empieza a cumplir la promesa. En España llevamos años y años gastando en I + D un miserable 0,3 % del PNB y no parece que esto preocupe a nadie más que a los científicos. Debemos volver al CERN, pero no podemos hacerlo sin planificar un aumento sustancial de los gastos de I + D en nuestro país. En estos momentos, la cuota íntegra al CERN más un 50 % de la misma para gastar en el país, y así aprovechar plenamente los servicios que aquél ofrece, representa dedicar a la Física de las Altas Energías más de un 6 % de todos nuestros gastos de I + D, mientras que los países miembros del CERN dedican, en promedio, sólo un 1,3 % de los gastos totales de I + D. Si España no es capaz de darse cuenta de que debemos incrementar nuestros gastos de I + D hasta niveles europeos y prefiere que nuestra dependencia económica de otros países vaya aumentando sin parar, no debemos volver al CERN. ■

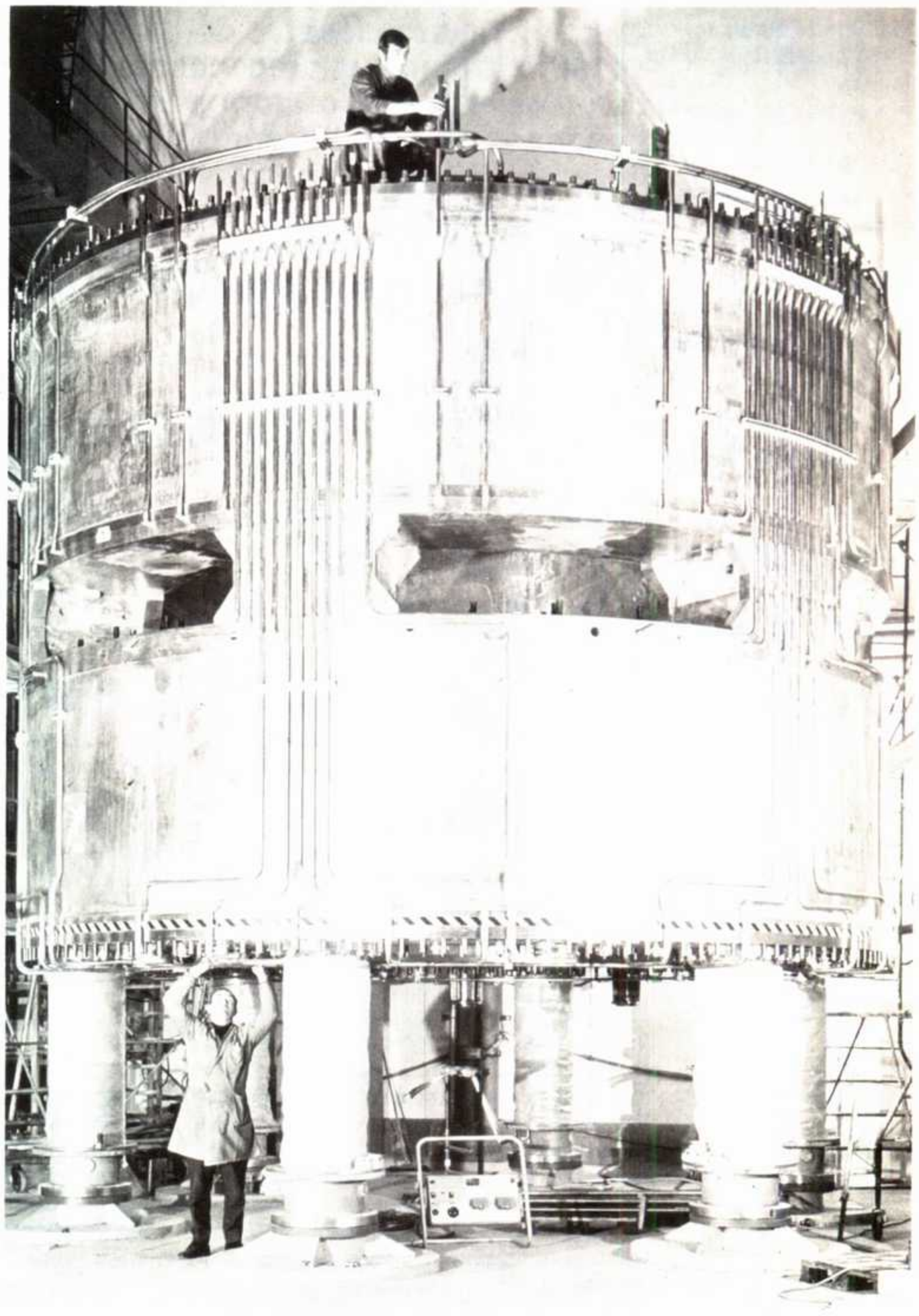


Figura 6. **Hoy día se usan no sólo las «cámaras de burbujas», como ésta que corresponde a la BEBC del CERN, sino instrumentos de tipo electrónico entre los que deben mencionarse las cámaras de hilos, los contadores Cerenkov, contadores proporcionales, etc., que tienden a reemplazar en parte a la «cámara de burbujas» por su mayor eficacia.** (Foto CERN.)

Los láseres de semiconductores

por Jean-Pierre Noblanc

Jean-Pierre Noblanc dirige la división de Física microoptoelectrónica y señales del Centre Paris B del CNET en Bagneux.

■ Los primeros láseres de semiconductores nacieron en el transcurso de los años sesenta. Como sus predecesores, ¿iban a quedar, la mayor parte de las veces, arrinconados en los laboratorios de investigación? Los primeros ensayos incitaban a responder en sentido afirmativo, pero gracias a una serie de innovaciones, estas «pastillas» láser están en condiciones de conquistar numerosas aplicaciones en el sector del gran público: desde las cajas de supermercados hasta las telecomunicaciones ópticas. Los láseres de semiconductores representan, sin duda, la forma más domesticada y más utilizable del láser.

■ Hoy en día ya es un lugar común decir que el prodigioso desarrollo de la electrónica que se ha producido en los últimos treinta años se debe, en primer lugar, al desarrollo del transistor seguido después por el de los circuitos integrados. Esta revolución tecnológica constituye el origen no sólo de importantes acontecimientos como la conquista del espacio, posibilitada gracias a la aportación de los grandes ordenadores, a la reducción de peso y a la fiabilidad de los equipos embarcados, sino también de acontecimientos más modestos pero cotidianos, como el de desplazar el receptor de radio de transistores de la cocina al baño, que modifican la forma de vida del mortal común...

El advenimiento de los componentes optoelectrónicos, o sea de elementos que, a diferencia de los transistores que sólo manejan señales eléctricas, realizan una conversión electro-óptica o a la inversa, ¿es un nuevo acontecimiento importante de la electrónica? El futuro lo dirá, pero el gran público ya conoce la existencia de componentes optoelectrónicos como los visualizadores de cristales líquidos o de diodos electroluminiscentes de semiconductores, rojos o verdes, que florecen sobre los relojes de cuarzo o las calculadoras de bolsillo. Aún en la sombra, hay que decirlo, porque su radiación suele estar situada en el infrarrojo, es decir, no detectable por el ojo, los láseres de semiconductores aparecen como componentes críticos, en particular para las telecomunicaciones por fibras ópticas, vectores de la telemática o de la videocomunicación. Así, la transmisión de imágenes de persona a persona depende estrechamente del desarrollo de los láseres de semiconductores. Pero para estos componentes se ofrecen muchas otras perspectivas: cada vez se habla más del videodisco, que permitirá almacenar unas cantidades enormes de información, o de los lectores e impresoras de láser (*Mundo Científico,* n.º 6, pág. 592, septiembre 1981) que ya han hecho su aparición en las cajas de los supermercados y en los terminales de ordenador.

Por tanto, en estas condiciones, no es sorprendente que exista una áspera batalla para el dominio de estos componentes entre los laboratorios de investigación públicos o privados de todo el mundo y, en particular, de Estados Unidos o Japón, además de varios laboratorios europeos que tratan de mantenerse en el pelotón... Para el hombre del oficio, la realización de componentes, es decir, de elementos utilizables, es el resultado de una entusiástica sinergia entre la física del estado sólido y la tecnología de materiales semiconductores como el arseniuro de galio. Ésta es la aventura que nos proponemos contar.

Del descubrimiento del principio al empleo del componente láser

En el alba de los años sesenta, A.L. Schawlow y C.H. Townes[1] de Bell Laboratories, demostraron que la emisión estimulada de luz podía conducir a la generación de radiación luminosa coherente: así descubrieron el láser, cuya traducción literal significa «amplificación luminosa de emisión de radiación estimulada». Las primeras verificaciones experimentales se efectuaron en 1960 en un sólido aislante: el rubí, por T.H. Maiman del Hughes Research Laboratory[2] y, un año más tarde, en un gas: una mezcla de helio y neón, por A. Javan de Bell Laboratories.[3] El origen de la emisión estimulada se basa en la noción de la inversión de población en un medio en el que los átomos activos están diluidos en una matriz. En el caso del rubí, los elementos activos son iones de cromo dipersos en una matriz cristalina de aluminio de algunos centímetros de longitud; en el de helio-neón, los átomos activos son los de neón esparcidos en un recinto cerrado de algunas decenas de centímetros de longitud que contiene la mezcla gaseosa (He-Ne). Pero, ¿qué significa la noción de inversión de la población? Para responder a ello, consideremos un sistema atómico diluido, como el indicado más arriba, en el que los estados posibles de energía de los átomos están bien definidos y corresponden a niveles de energía discretos. Para un sistema de dos niveles de energía, las leyes de la termodinámica imponen que el número de átomos, o sea la población, en el estado más bajo de energía, sea superior a la población en el estado energético más elevado. Supongamos entonces que este medio se someta a una irradiación de luz. Por absorción de la luz incidente, algunos átomos situados en el nivel de energía más bajo (nivel fundamental) son transferidos a niveles de energía superiores (niveles excitados). Al cabo de un tiempo característico, el retorno de átomo a su estado fundamental produce, en ciertas condiciones, una emisión de luz que restituye la energía adquirida en la operación de absorción (fig. 1A). Este proceso corresponde al proceso clásico en el que la emisión de luz se denomina espontánea: los diferentes átomos excitados se desexcitan independientemente los unos de los otros. En cambio, sí es posible llevar más átomos a un estado excitado que en el estado fundamental, hay una inversión de población y predomina una emisión de luz de otra naturaleza: se trata de la emisión estimulada en la que, bajo la influencia estimulante de una radiación excitadora, los diferentes átomos excitados se desexcitan de forma coherente, es decir, emitiendo en fase y en la misma dirección, un mismo cuanto de energía luminosa o fotón.

Para construir un láser, o sea un oscilador luminoso, es necesario disponer de una cavidad óptica que contenga un medio activo con el que la luz interaccione en sus idas y venidas por la cavidad. La oscilación láser se establece cuando el medio activo presenta un efecto de amplificación, medido por la ganancia, superior a las pérdidas del material y de la cavidad. La condición necesaria para la aparición de la ganancia es que en el material se produzca inversión de población. Para un sistema de dos niveles, no puede producirse inversión de población. En cambio (fig. 1B), en un sistema de tres o más niveles, excitando el medio (transición 0-2) es posible disponer de un número de átomos en el estado excitado 2, superior al número de átomos en el estado 1. Entonces existe inversión de población entre el estado 2 y el estado 1. Entre los diversos métodos de excitación del medio, existe uno eficaz para los medios sólidos derivado del bombeo óptico, propuesto en 1950 por A. Kastler, el cual consiste en someter el medio a una irradiación luminosa de energía adecuada.

(1) A.L. Schawlow y C.H. Townes, *Phys. Rev., 112,* 1940, 1958.
(2) T.H. Maiman, *Nature, 187,* 493, 1960.
(3) A. Javan y otros, *Phys. Rev. Letters, 6,* 106, 1961.

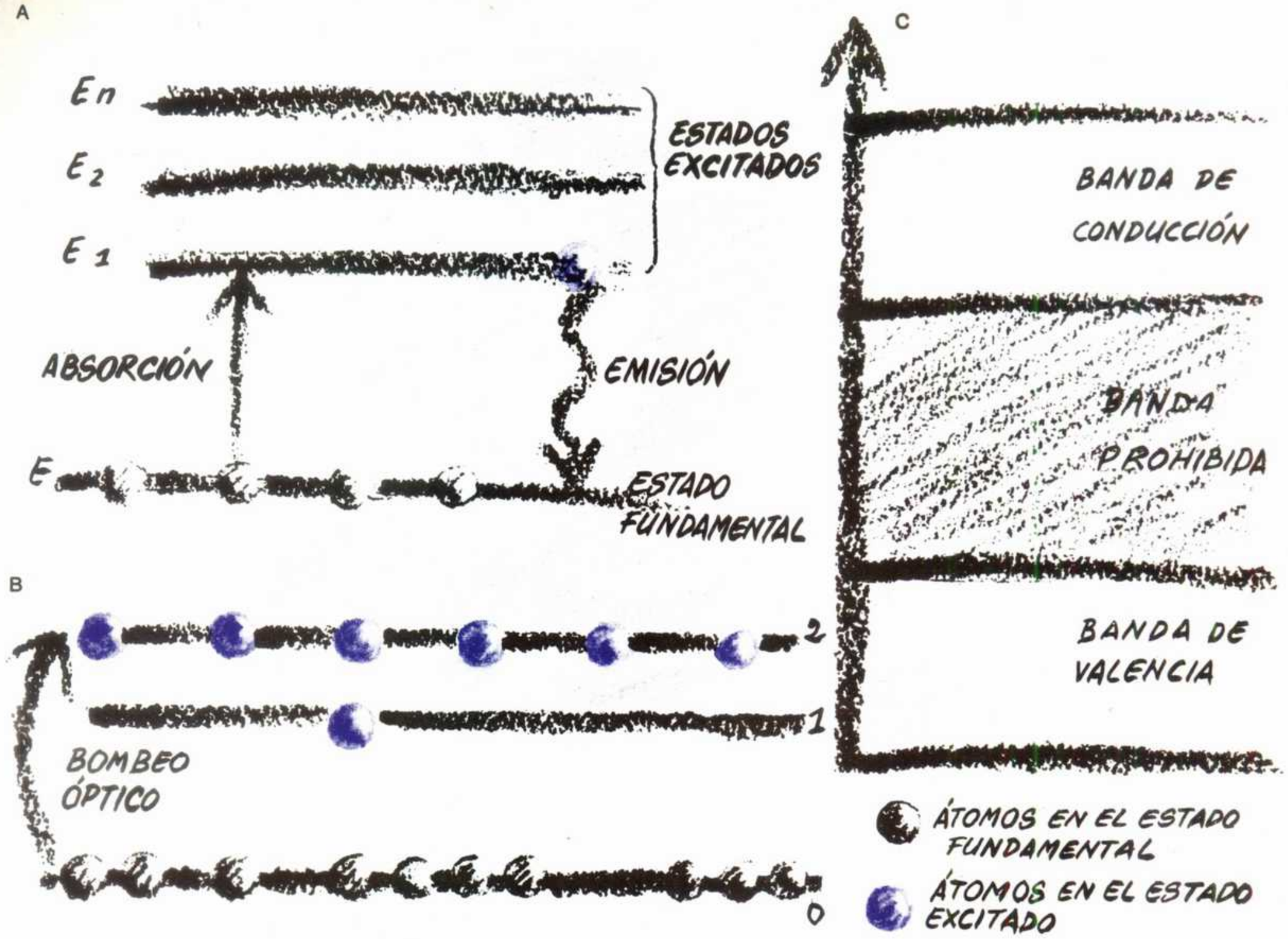


Figura 1. **En un sistema atómico diluido como el del láser de rubí o del láser helio-neón, los átomos ocupan niveles de energía bien definidos. Las transiciones ópticas atómicas entre estos niveles corresponden a los procesos de absorción y de emisión** (A). **Para un sistema de más de dos niveles de energía, es posible establecer una inversión de población entre dos estados excitados** (B). **Por ejemplo, para un sistema de 3 niveles —0, 1 y 2— se puede, por excitación de los átomos del nivel 0 hacia el nivel 2, por ejemplo por bombeo óptico, acumular en el nivel 2 un mayor número de átomos que en el nivel 1: entonces hay una inversión de población con respecto al equilibrio termodinámico entre los niveles 1 y 2. Al contrario de lo que sucede en un sistema diluido, un semiconductor, al igual que un metal, pone en juego concentraciones atómicas muy elevadas. Las interacciones entre átomos son importantes: esto se traduce para los electrones periféricos de los átomos, sensibles a estas interacciones, en niveles de energía que ya no son discretos, pero que están situados en bandas de energía «permitidas» separadas por bandas de energía «prohibidas». Las transiciones ópticas corresponden a procesos de absorción y emisión de fotones** (C). **Entre las dos bandas de energía más elevada hay una banda que mantiene el equilibrio termodinámico de los electrones: la banda de valencia, y la de conducción, separadas por la banda prohibida.**

Pero, ¿qué sucede con la noción de inversión de población cuando ya no se trata de un medio en el que los átomos activos, en débil concentración, son elementos extraños diluidos en una matriz, sino de un medio en el que los átomos activos son los constituyentes de la matriz cristalina propiamente dicha, por ejemplo en un semiconductor? Con respecto a los ejemplos citados anteriormente, rubí o mezcla helio-neón, los semiconductores presentan grandes ventajas: por una parte, pueden ser excitados, bajo ciertas condiciones, por el paso de la corriente eléctrica; por otra parte, como la concentración de átomos activos es bastante mayor que en el caso de los átomos diluidos en un medio, la ganancia debe ser bastante más grande, por lo que es posible reducir las dimensiones del medio activo.

Se sabe que en los semiconductores, como en el caso de los metales, los átomos interaccionan entre ellos, y el esquema energético basado sobre los niveles discretos en el caso de los átomos diluidos en una matriz debe reemplazarse por un modelo en el que las energías de los electrones del sólido llenan bandas «permitidas» alternando con bandas «prohibidas». A la temperatura 0 °K, los electrones llenan completamente un cierto número de bandas. La última banda llena que contiene electrones es la banda de valencia, y la banda permitida de energía inmediatamente superior, que no contiene ningún electrón a 0 °K, es la banda de conducción (fig. 1C). La diferencia de energía entre la energía máxima de la banda de valencia y la energía mínima de la banda de conducción es la energía de banda prohibida. Las propiedades eléctricas de los semiconductores quedan considerablemente modificadas por el «dopado» del material mediante impurezas cuyos niveles de energía electrónica están situados en la banda prohibida. Algunas impurezas «ceden» electrones a la banda de conducción, que es el caso de los átomos donadores; algunos otros «aceptan» electrones (o dejan «huecos» o ausencias de electrones en la banda de valencia) que es el caso de los átomos aceptadores. Un semiconductor dopado con donadores (o aceptadores) corresponde a una conducción eléctrica por electrones (o por huecos): se dice entonces que el semiconductor es de tipo N (o tipo P). Para obtener una emisión de luz en un semiconductor, es necesario hacer interaccionar electrones y huecos. Esto puede conseguirse mediante una unión P-N constituida por dos regiones: la una de tipo P y la otra de tipo N. En ausencia de cualquier tensión aplicada, entre las dos superficies encaradas P y N existe una barrera de potencial. Aplicando una tensión eléctrica de una determinada polaridad, polo + del generador al lado P y polo — al lado N, o sea polarización directa, la altura de la barrera disminuye y la corriente circula por la unión. Corresponde al paso de electrones «mayoritarios» de la región de tipo N a la región de tipo P, donde se convierten en «minoritarios»; lo mismo sucede con los huecos mayoritarios de la región P que pasan a la región N. Así, a una y otra parte de las superficies encaradas, hay electrones y huecos dispuestos a interaccionar para producir luz en los materiales adecuados.

En 1961, M.G.A. Bernard y G. Duraffourg[4], en el CNET, propusieron ampliar la noción de inversión de población a los semiconductores y establecieron la condición. Esta condición toma un significado notablemente sencillo en el caso en que la excitación del semiconductor se hace mediante la aplicación de una tensión en los extremos de una unión o diodo P-N realizado

(4) M.G.A. Bernard y G. Duraffourg, *Phys. Stat. Solid., 1,* 699, 1961.

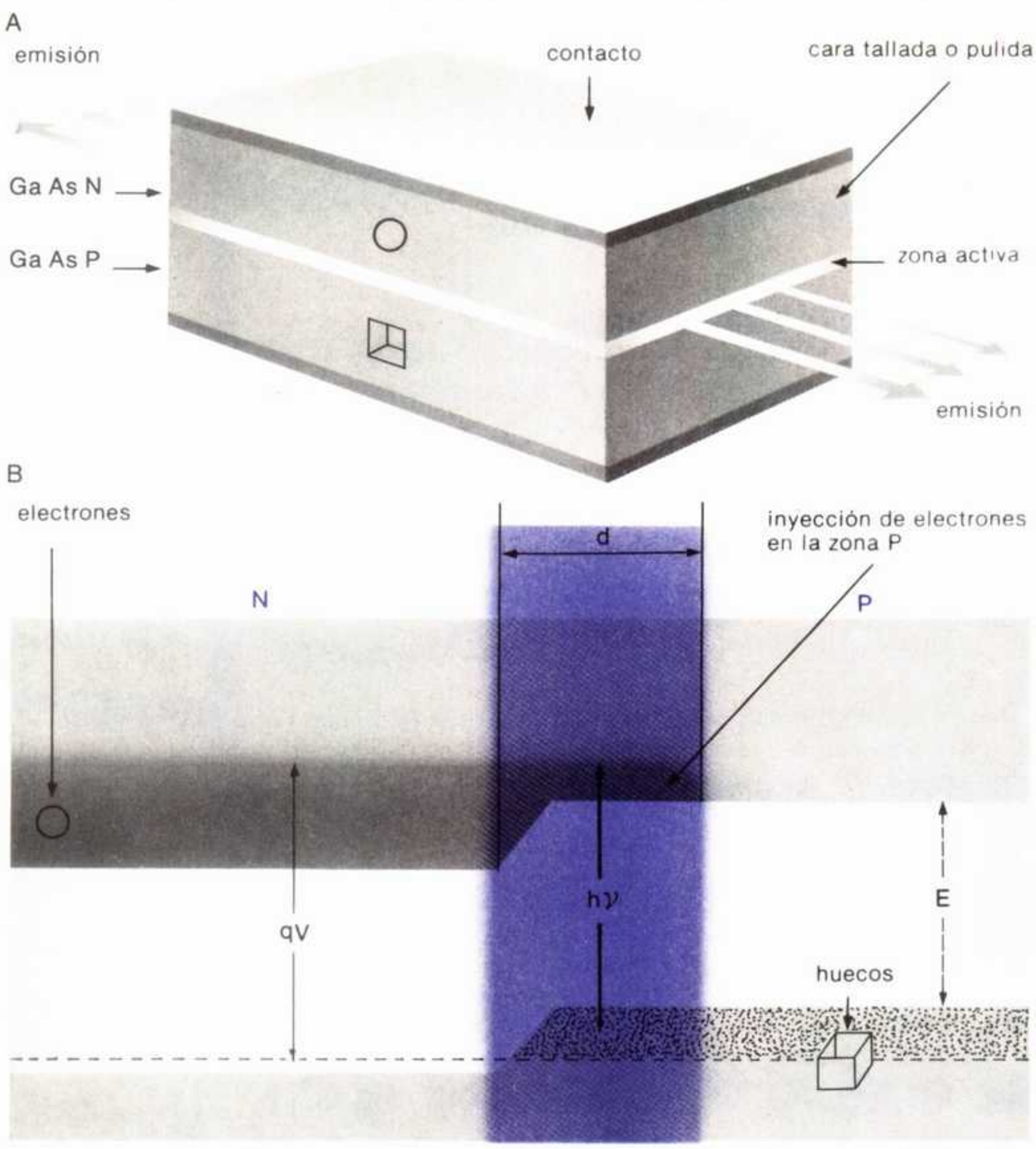


Figura 2. **Un diodo láser de homounión se presenta en forma de un paralelepipedo rectangular. La oscilación láser se desarrolla entre dos caras de salida talladas o pulidas y cuidadosamente paralelas. En cada ida y vuelta en el interior de la cavidad, una parte de la luz láser se refleja en las caras de salida, mientras que otra parte se transmite a través de ellas y constituye la radiación láser emergente** (A).
En un semiconductor homogéneo de energía de banda prohibida E, este diodo está constituido por dos regiones, una de tipo P y otra de tipo N. Su funcionamiento se explica del siguiente modo: bajo el efecto de una tensión de polarización directa V, la altura de la barrera de potencial que existe al nivel de la unión P-N se reduce y se establece una corriente. Esta corriente corresponde a una inyección de electrones en la banda de conducción del lado P. Los electrones se recombinan entonces con los huecos existentes en el lado P, por definición, para producir en un material como el GaAs fotones de energía $h\nu$. En estas circunstancias, la condición de inversión de población se escribe: $qv \geq h\nu > E$ (q: carga del electrón, h: constante de Planck) (B).

en el material. Efectivamente, en este caso, en los extremos de la unión es necesario aplicar una tensión de control que corresponde a una energía superior a la energía de radiación luminosa emitida por el semiconductor, o sea superior a la energía de banda prohibida del material.

Es importante observar que la naturaleza del material juega un papel muy importante para transformar esta condición necesaria en condición suficiente y, en particular, la aptitud que presenta el material para responder a una excitación eléctrica generando luz, es esencial. En este aspecto, los materiales semiconductores conocidos en aquella época, como el germanio y el silicio, son malos candidatos. En cambio, la mayor parte de las aleaciones semiconductoras III-V, formadas por un elemento de la columna III de la clasificación periódica y un elemento de la columna V, se presentan como candidatos válidos. En efecto, la configuración energética de sus bandas de energía es tal que, en una primera aproximación, la respuesta del material a una excitación es una emisión de fotones, mientras que en condiciones de excitación análoga, la respuesta del germanio y del silicio corresponde a ondas de vibración de la red cristalina y no a una emisión de fotones. Entre los materiales III-V, el cabeza de serie es, sin duda ninguna, el arseniuro de galio GaAs, pero también presentan un gran interés otros materiales: InP, InAs, InSb y GaSb.

Faltó poco para abandonar

En 1962, Bernard y Duraffourg pudieron estar tranquilos: su condición se verificó experimentalmente. Dos laboratorios estadounidenses anunciaron casi simultáneamente la obtención del efecto láser en muestras cristalinas de GaAs de algunos centenares de micras de longitud: se trataba de IBM y de General Electric.[5] Para poner en evidencia el efecto que se traduce en la emisión de una radiación muy monocromática, fue necesario enfriar el diodo a la temperatura del nitrógeno líquido (—196 °C) para disminuir la corriente de excitación necesaria. Pero, incluso a esta temperatura, la densidad de corriente es tan elevada (2×10^4 A/cm^2), que es imposible aplicar la corriente en régimen continuo bajo pena de deteriorar la unión; dicha corriente se aplica en forma de impulsos muy cortos del orden de 5 μs, a una cadencia muy reducida del orden de diez veces por segundo. En los meses que siguieron al éxito con el GaAs, el efecto láser también se obtuvo con el InSb y el GaSb, en particular en Francia, donde el laboratorio de Física del ENS y el CNET obtuvieron resultados en contextos experimentales ligeramente diferentes. Así, el efecto se demostró, pero las condiciones de su obtención eran draconianas: funcionamiento a muy baja temperatura en régimen de impulsos de muy bajo porcentaje de repetición. La experiencia tiene todo el carácter de una experiencia de laboratorio en la que interesa poner en evidencia un efecto, pero su utilización práctica choca de forma irreconciliable con las condiciones de funcionamiento expuestas. Por tanto, el problema planteado es claro: o bien las condiciones de funcionamiento podrán modificarse radicalmente para permitir el funcionamiento a temperatura ambiente y en régimen continuo, y la experiencia de laboratorio podrá dar nacimiento a un componente, o bien el efecto sólo podrá modificarse ligeramente y su impacto sobre las aplicaciones corre el riesgo de ser muy pequeño. Rápidamente se ve que para estructuras como las que han dado los primeros resultados, el funcionamiento en régimen continuo a temperatura ambiente no parece posible. En estas condiciones, la mayor parte de los laboratorios mundiales disminuyeron o pararon completamente sus investigaciones.

Y no obstante, en 1970, la noticia: prácticamente de forma simultánea, Bell Laboratories (Estados Unidos) y el Instituto Ioffe (Unión Soviética) anuncian el funcionamiento de láseres GaAs en régimen continuo a temperatura ambiente.[6] ¿Qué sucedió? ¿No será que los investigadores se equivocaron? Nada de esto, sino que lo que es imposible para una estructura sencilla, la unión P-N de GaAs u homounión, se hace posible con una estructura más sofisticada y heterogénea: la heterounión. Este acontecimiento, que significa que el láser de semiconductores GaAs puede convertirse en un objeto utilizable, queda considerablemente reforzado por el anuncio, en el mismo momento, por los laboratorios de Corning Glass Works (Estados Unidos), de la realización de fibras ópticas de silicio cuya atenuación es comparable a la de los cables telefónicos tradicionales. Es del orden de 20 decibelios por kilómetro, o sea que al final de un kilómetro de propagación, queda un 1 % de la potencia luminosa emitida.

(5) R.N. Hall y otros, *Phys. Rev. Letters, 9,* 366, 1962; M.I. Nathan y otros, *Appl. Phys. Letters, 1,* 62, 1962.
(6) I. Hayashi y otros, *Appl. Phys. Letters, 17,* 109, 1970; Zh. I. Alferov y otros, *Fiz Tekk Popuprovoda, 4,* 1826, 1970.

Durante mucho tiempo se había considerado la posibilidad de transmitir información con fibras ópticas, basada en el principio de las fuentes luminosas. Pero los resultados habían sido muy decepcionantes: parecía casi imposible realizar materiales de suficiente pureza para que proporcionasen fibras con una atenuación comparable a la de los cables telefónicos, por ejemplo. El resultado de Corning Glass demostró que ante las comunicaciones ópticas se abría un nuevo medio. Por otra parte, y es aquí donde los dos acontecimientos convergen, la longitud de onda a la que la atenuación de la fibra es tan reducida como de 20 dB/km, es relativamente precisa y cercana a los 0,85 μm, o sea prácticamente la misma longitud de onda del láser de GaAs a temperatura ambiente: 0,87 μm. El resultado de la coincidencia entre la fuente luminosa (el láser GaAs) y el medio de transmisión (la fibra de silicio) fue que nacieron las telecomunicaciones por fibras ópticas.

Una idea sencilla, una innovación importante

Analicemos con más detalle las causas de las limitaciones del láser GaAs de homounión (fig. 2A). La corriente en la unión en el sentido directo corresponde, por una parte, a un flujo de electrones de la región N hacia la región P y, por otra parte, a un flujo de huecos de P hacia N. Lo más normal es que una de las contribuciones predomine sobre la otra. Así, en el GaAs, puede considerarse que la corriente se debe solamente a los electrones. Por tanto, en la zona P, alrededor de la unión, existe una región en la que al combinarse un exceso de electrones inyectados con los huecos da lugar a la generación de fotones. Esta región es la zona activa del láser. En cada instante, en cada volumen elemental de la zona activa, el número de fotones generados es proporcional al número de electrones inyectados. El efecto láser se establece cuando, en cada volumen elemental, la ganancia es superior a las pérdidas, o sea, cuando el número de electrones inyectados es superior a un determinado nivel. Para una corriente dada, el número de electrones inyectados en cada instante en un volumen elemental depende evidentemente del volumen de la zona activa, que es el producto de la superficie de unión por la profundidad de la zona activa. Esta última magnitud corresponde a la extensión sobre la que son inyectados los electrones: es la longitud de difusión, un parámetro físico esencial. En el arseniuro de galio, la longitud de difusión de los electrones es, a la temperatura ambiente, de algunas micras, y disminuye con la temperatura. En estas condiciones, el umbral por volumen elemental debe disminuir con la temperatura. Además, la variación del umbral fija la corriente de funcionamiento del láser que, teniendo en cuenta el calentamiento que puede soportar el material, impone un funcionamiento por impulsos.

En resumen, en una estructura como la de los diodos láser GaAs de homounión, la principal limitación que prohíbe el funcionamiento en régimen continuo a la temperatura ambiente está ligada a la longitud de difusión de los electrones, mientras que otras limitaciones proceden de las características térmicas del material, así como las de su soporte disipador. La solución del problema demuestra que una idea sencilla puede conducir a una innovación importante. Efectivamente, como el volumen de la zona activa del láser de homounión es demasiado grande para permitir el funcionamiento continuo a la temperatura ambiente, es preciso reducirlo, y un medio sencillo para ello es evitar que los electrones se difundan a lo largo de una distancia igual a su longitud de difusión. Para ello, los investigadores de Bell Laboratories y de Ioffe tuvieron, en 1970, la misma idea: bastaba con colo-

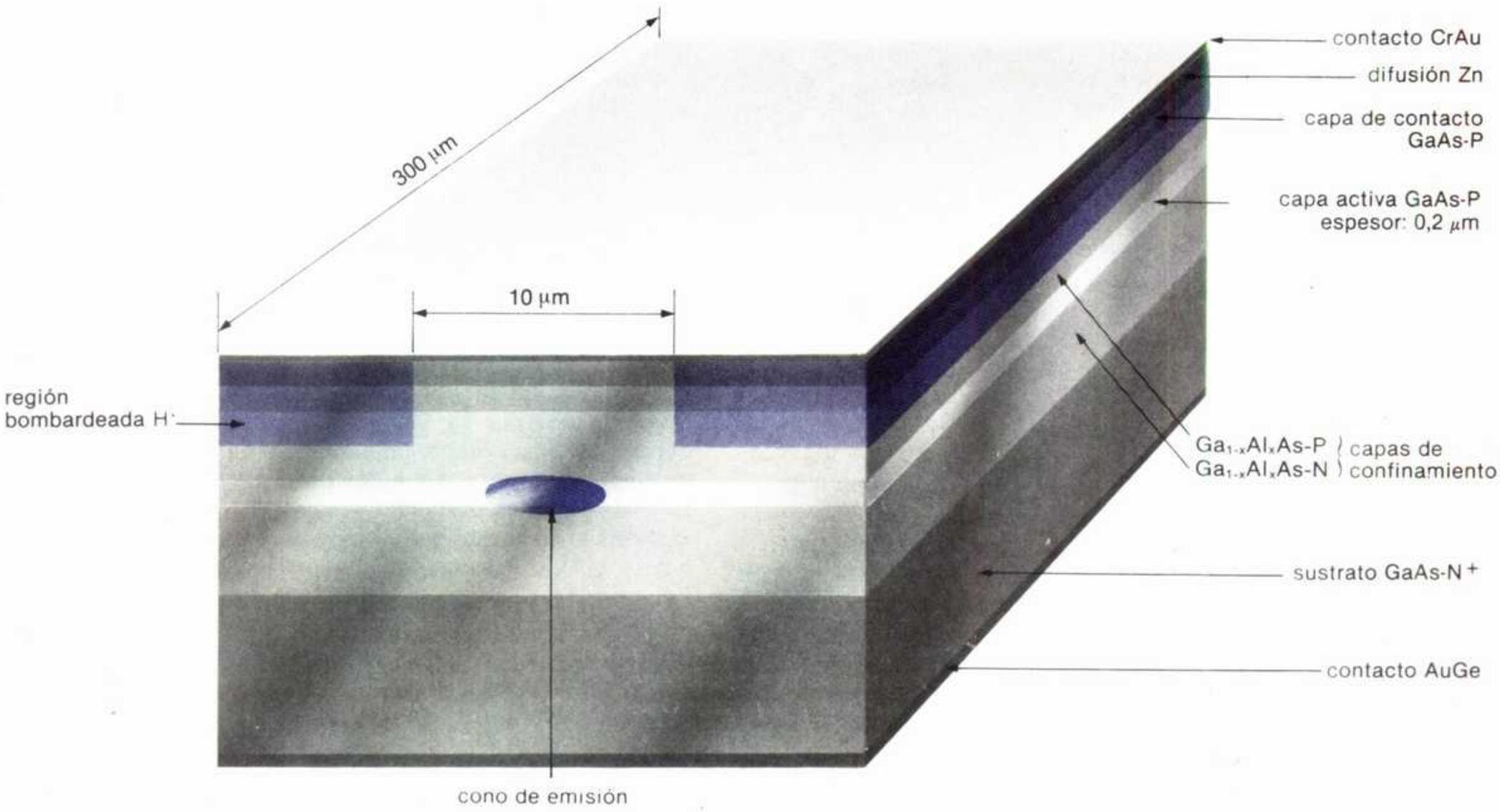


Figura 3. **En un diodo láser de doble heteroestructura GaAlAs-GaAs, los electrones inyectados en la capa activa de GaAs proceden de la capa de confinamiento de $Ga_{1-x}Al_xAs$ de tipo N: heterounión GaAlAs(N) - GaAs(P). Como el espesor de la capa activa es significativamente inferior a la longitud de difusión de los electrones, la difusión de éstos queda bloqueada por la barrera de potencial constituida por la capa de confinamiento de $Ga_{1-x}Al_xAs$ de tipo P: heterounión GaAs(P) - GaAlAs (P). Al estar confinados en la capa activa, los electrones se recombinan con los huecos existentes para producir los fotones luminosos. Estos últimos se mantienen en el interior de la capa activa, dentro de la guía óptica plana constituida por la capa activa por una parte, y las dos capas de confinamiento por otra.**
Debido al reducido espesor de la capa activa, inferior a la longitud de onda de la emisión láser, la radiación emergente sufre una difracción importante en el plano perpendicular a la unión. El haz emergente se presenta en forma de cono.

Un apilado de capas que debe ser perfecto y del tamaño de una pulga.

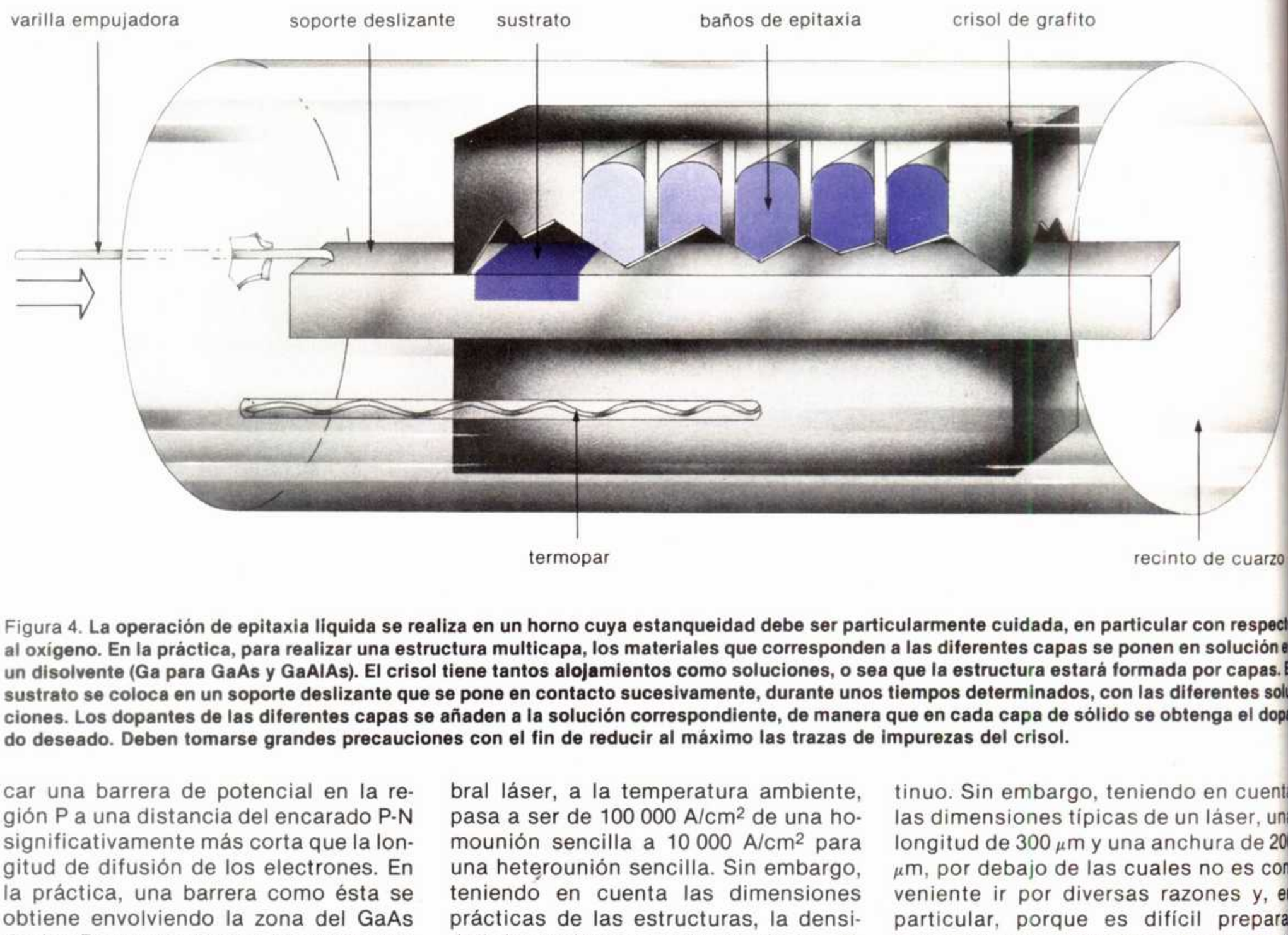


Figura 4. **La operación de epitaxia liquida se realiza en un horno cuya estanqueidad debe ser particularmente cuidada, en particular con respecto al oxígeno. En la práctica, para realizar una estructura multicapa, los materiales que corresponden a las diferentes capas se ponen en solución en un disolvente (Ga para GaAs y GaAlAs). El crisol tiene tantos alojamientos como soluciones, o sea que la estructura estará formada por capas. El sustrato se coloca en un soporte deslizante que se pone en contacto sucesivamente, durante unos tiempos determinados, con las diferentes soluciones. Los dopantes de las diferentes capas se añaden a la solución correspondiente, de manera que en cada capa de sólido se obtenga el dopado deseado. Deben tomarse grandes precauciones con el fin de reducir al máximo las trazas de impurezas del crisol.**

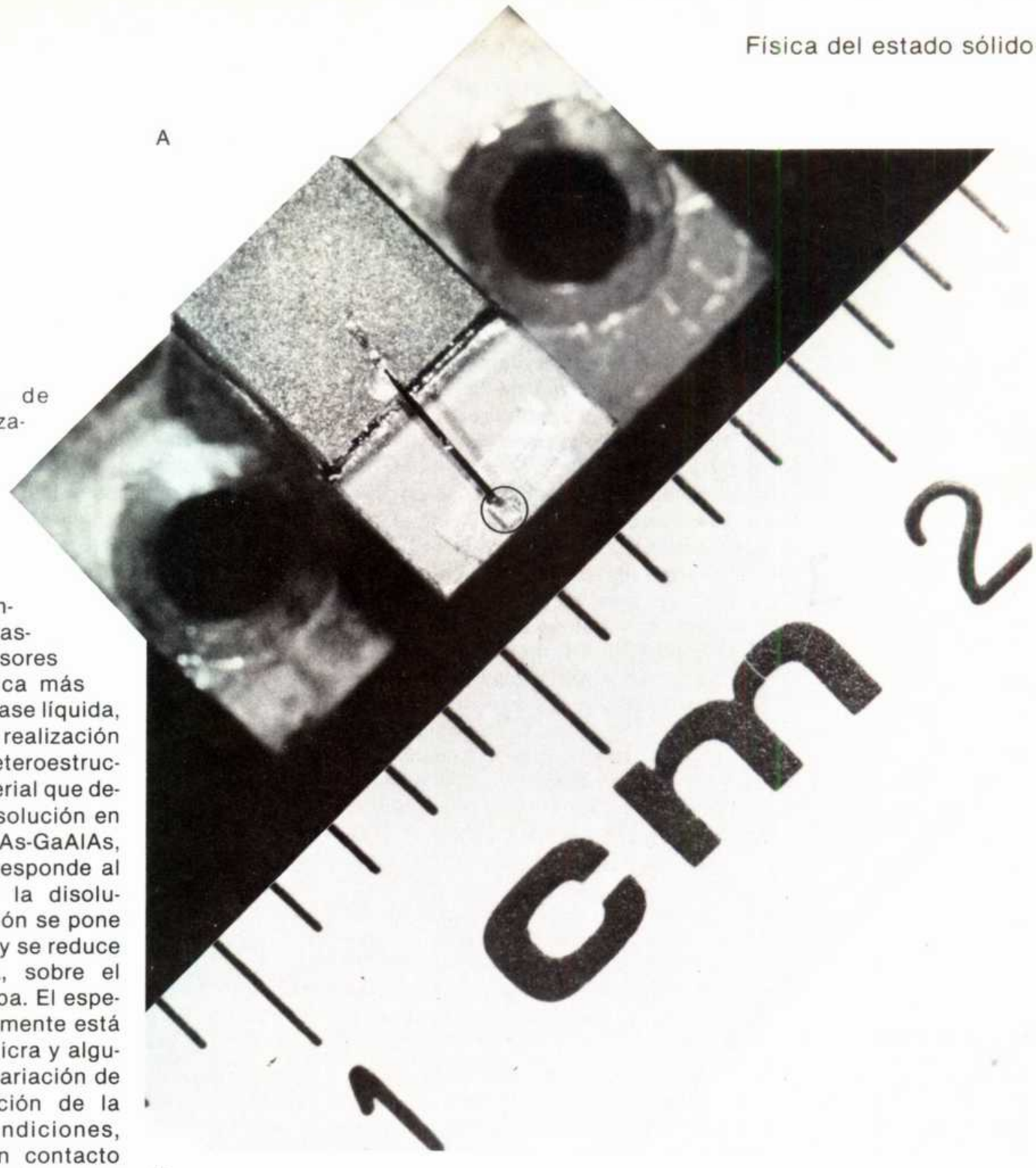
car una barrera de potencial en la región P a una distancia del encarado P-N significativamente más corta que la longitud de difusión de los electrones. En la práctica, una barrera como ésta se obtiene envolviendo la zona del GaAs de tipo P con otro material semiconductor cuya energía de banda prohibida es superior a la del GaAs. De esta manera, en la zona de tipo P se crea una heterounión entre el GaAs y el semiconductor correspondiente. La noción de heterounión no es nueva, aunque el buen funcionamiento eléctrico de la heterounión necesita que los diferentes materiales que la constituyen posean dimensiones de mallas elementales parecidas. En caso contrario, el encarado de la heterounión contiene un gran número de defectos que capturan los electrones inyectados, impidiéndoles que jueguen un papel en el efecto láser. Esta situación desfavorable corresponde al caso general. Sin embargo, existe un semiconductor, el arseniuro de aluminio, AlAs, cuya energía de banda prohibida es superior a la del GaAs: 2,4 eV y 1,4 eV respectivamente, y cuyo parámetro cristalino que caracteriza la malla metálica es muy parecido al del GaAs: 5,66 A y 5,65 A respectivamente. La altura de la barrera entre estos dos materiales es sensiblemente superior a la necesaria para bloquear la difusión de los electrones y, de hecho, con el fin de minimizar aún más la diferencia de malla elemental, se utiliza una heterounión GaAs-$Ga_{1-x}Al_xA_s$ con un valor de $X < 1$, en la práctica, $X = 0{,}3$. La ralización de tales estructuras, diodos láser de simple heterounión que tienen una longitud de zona activa sensiblemente inferior a la longitud de difusión, o sea una fracción de micra, demuestra la eficacia de la heterounión, ya que la densidad de corriente de umbral láser, a la temperatura ambiente, pasa a ser de 100 000 A/cm^2 de una homounión sencilla a 10 000 A/cm^2 para una heterounión sencilla. Sin embargo, teniendo en cuenta las dimensiones prácticas de las estructuras, la densidad de corriente de umbral aún es demasiado elevada para un funcionamiento continuo a temperatura ambiente.

Otra propiedad importante de la heterounión es una propiedad óptica. Efectivamente, cuando en el encarado GaAs-$Ga_{1-x}Al_xAs$ se aumenta la energía de banda prohibida, el índice óptico se reduce. En estas condiciones, los fotones generados por las recombinaciones electrones-huecos en las cercanías de este encarado son guiados por la diferencia de índice correspondiente, es decir, quedan «confinados» en la zona activa. Así, la heterounión no sólo permite disminuir el volumen de la zona activa, sino que también permite reducir las pérdidas ópticas de dicha zona y, en consecuencia, reducir la densidad de corriente de umbral. En estas condiciones, las pérdidas ópticas aún se reducirán más si en el otro extremo de la zona activa, el lado P, se coloca una segunda heterounión. Ésta es la estructura del diodo láser de doble heterounión, propuesta casi simultáneamente en 1970 por I. Hayashi y colaboradores por una parte, y por Z.I. Alferov y colaboradores por otra (figura 3). Así, el doble confinamiento de los electrones inyectados y de los fotones se traduce en una nueva reducción de la corriente de umbral que pasa a ser típicamente del orden de 1 000 A/cm^2 a 2 000 A/cm^2 para un espesor de zona activa del orden de 0,2 μm a 0,3 μm. La densidad de corriente de umbral así obtenida en un láser GaAlAs-GaAs de doble heterounión se hace compatible con el funcionamiento continuo. Sin embargo, teniendo en cuenta las dimensiones típicas de un láser, una longitud de 300 μm y una anchura de 200 μm, por debajo de las cuales no es conveniente ir por diversas razones y, en particular, porque es difícil preparar muestras más pequeñas, el valor de la corriente de umbral para las densidades indicadas anteriormente está comprendido entre 0,6 A y 1,2 A. Teniendo en cuenta las características térmicas del GaAs, estos valores son un poco elevados para el funcionamiento en régimen continuo. Por tanto, la anchura se ha reducido artificialmente a un valor del orden de 10 μm a 20 μm impidiendo el paso de la corriente eléctrica fuera de una cinta que tiene la longitud de la muestra y una anchura de 10 μm a 20 μm.

A partir de los años 1975, hemos realizado láseres GaAs-GaAlAs de doble heteroestructura. Poseen las siguientes características: intensidad de corriente de umbral inferior a 100 mA, tensión de polarización del orden de 1,8 V, longitud de onda de emisión cercana a 8 760 Å y potencia emitida en régimen continuo de algunos milivatios. Estos valores, así como el carácter muy monocromático de la emisión, cuya extensión espectral no sobrepasa de algunas centésimas de angström —o sea unos pocos MHz— hacen de estos componentes unos excelentes candidatos para las transmisiones por fibras ópticas.

Un apilado de capas más que delicado

Tal como hemos visto, un diodo láser de doble heteroestructura de GaAs-GaAlAs está constituido por un apilado de cuatro capas semiconductoras, cuyo espesor varía entre algunas micras y algunas décimas de micra, sobre un



sustrato monocristalino de GaAs. La técnica de realización de este apilado de capas es particularmente crítica por una parte en lo referente a la pureza y al control del dopado y, por otra parte, al aplanado de las superficies encaradas a una escala bastante inferior a los espesores puestos en juego. La técnica más empleada es la epitaxial en fase líquida, que es la que ha permitido la realización de los primeros láseres de heteroestructura. En este método, el material que debe depositarse se pone en solución en un disolvente: Ga para el GaAs-GaAlAs, a una temperatura que corresponde al equilibrio líquido-sólido de la disolución. Si entonces la disolución se pone en presencia de un sustrato y se reduce lentamente la temperatura, sobre el sustrato se deposita una capa. El espesor de esta capa, que típicamente está entre algunas décimas de micra y algunas micras, depende de la variación de temperatura y de la duración de la operación. En estas condiciones, poniendo sucesivamente en contacto el sustrato con varias soluciones, se realiza el apilado de capas correspondiente a la doble heteroestructura (figura 4.)

La epitaxia líquida ha sido elegida por numerosos laboratorios franceses (CGE, Thomson-CSF, RTC, CNET), estadounidenses, japoneses, rusos, ingleses, alemanes, holandeses, etc. A pesar de su gran interés, este método plantea serios problemas de industrialización. En particular, parece difícil de dominar de forma reproductible la realización de varias capas cuando la superficie de las capas epitaxiales es superior a 1 ó 2 cm^2, que corresponde a un máximo de 200 láseres. Por otra parte, la automatización del proceso tampoco es sencilla. En el caso de que se produzca un gran desarrollo de estos componentes, existe una limitación importante, que consiste en el rallado de las placas epitaxiadas y en la automatización del montaje de las «pastillas» sobre sus sustratos disipadores de calor (fig. 5). Ésta es la razón del empleo de otros métodos de epitaxia: la epitaxia en fase gaseosa o la epitaxia por chorro molecular han sido objeto de un importante desarrollo.

La epitaxia en fase gaseosa, método tomado de la industria del silicio, se emplea en gran manera en el mundo para el tratamiento de varias decenas de centímetros cuadrados de superficie y para la producción de pilotos rojos de GaAsP y de transistores de efecto de campo de GaAs. Por desgracia, este método no puede aplicarse al GaAlAs, por lo que es imposible realizar heteroestructuras GaAlAs-GaAs con esta técnica. Para salvar este límite y continuar beneficiándose de las ventajas inherentes de la epitaxia por vapor, varios laboratorios de Estados Unidos, Gran Bretaña, Japón y Francia (Thomson-CSF, LEP y CNET), estudian una variante en la que los gases reactivos están en forma de compuestos organometálicos. De esta manera se han realizado,

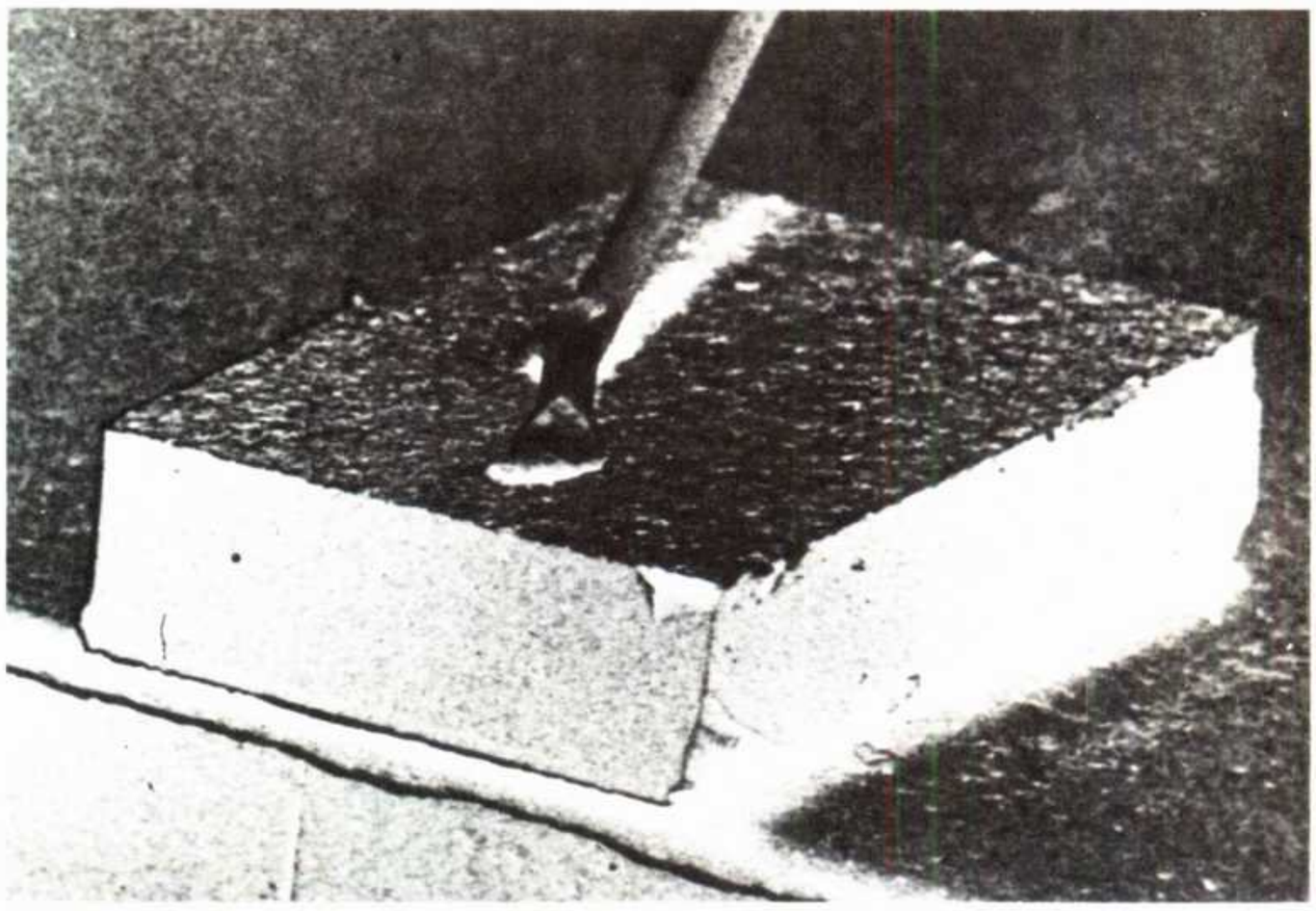


Figura 5. **Una «pastilla» láser es un pequeño paralelepípedo de unos 100 μm de espesor, 200 μm de anchura y 300 μm de longitud entre las caras de salida. El montaje de la pastilla ○ sobre su disipador térmico** (A) **es una operación delicada, ya que, al mismo tiempo, tiene que ver con el posicionado de la pastilla y la calidad del contacto con el sustrato disipador térmico.**
La figura (B) **representa una vista con el microscopio electrónico de barrido de la pastilla láser GaAs-GaAlAs soldada sobre el disipador de cobre macizo (x 200).** (Fotos CNET.)

¿Qué queda por hacer para conquistar el mercado de las telecomunicaciones por fibras ópticas?

en el laboratorio, láseres GaAs-GaAlAs que demuestran perfectamente que los problemas de pureza y de calidad de las capas epitaxiales pueden resolverse. Si bien estas calidades aún no son las de la epitaxia líquida, se está asistiendo a una rápida progresión del método, lo que es una prueba de sus interesantes perspectivas.

La epitaxia por chorro molecular constituye otra técnica aparecida recientemente y que se adapta bien a los compuestos III-V. Consiste en evaporar separadamente los elementos bajo ultravacío (para una buena pureza) de manera que se obtenga la composición deseada para la capa. Para ello se dispone de un método sofisticado muy prometedor, en particular para la deposición de capas muy delgadas de hasta algunas decenas de angströms y, probablemente, interesante para la integración de varios componentes sobre una misma plaquita. Esta técnica, aplicada al láser GaAlAs-GaAs, constituye el objeto de los trabajos que se están realizando en varios laboratorios estadounidenses, Bell Laboratories y, en Europa, en el FTZ (Alemania Federal) y en el CNET. Los resultados más recientes, en particular al nivel de la reproductibilidad, parecen prometedores para la industrialización.

Los láseres GaAlAs-GaAs de doble hteroestructura que funcionan en régimen continuo y a la temperatura ambiente ya son operativos para las telecomunicaciones por fibras ópticas. En todo el mundo, en Estados Unidos, Japón y Europa, los enlaces que dirigen el tráfico telefónico se multiplican. En Francia, entre las centrales parisinas de Tullerías y Philippe Auguste, en agosto de 1980, se puso en servicio un primer enlace «a gran escala» de 0,85 μm empleando un láser de GaAs-GaAlAs. Pero las telecomunicaciones no son la única salida para los láseres de semiconductores. Una parte importante de la producción del láser GaAs se emplea en las aplicaciones militares de tipo de telemetría óptica. Para estas aplicaciones, los láseres deben suministrar impulsos de luz en régimen discontinuo y no es preciso utilizar heteroestructuras dobles; sobre todo se emplean heteroestructuras sencillas. En Estados Unidos se han creado pequeñas sociedades de cara a esta aplicación, con frecuencia a partir de investigadores que han adquirido conocimientos y tecnología en grandes laboratorios. En particular pueden mencionarse Laser Diode y General Optronics. Es posible que estos «pioneros de la innovación» sean para la optoelectrónica lo que representan firmas como Intel para la microinformática...

La evolución hacia las grandes longitudes de onda

En los diez últimos años, los progresos de las fibras ópticas de silicio, en el trascurso del tiempo, han sido espectaculares. En efecto, si bien las primeras fibras ópticas de silicio presentaban una atenuación mínima hacia los 0,85 μm, en la actualidad ya no es así. Las longitudes de onda óptimas para las transmisiones se sitúan hacia 1,3 μm y 1,6 μm: a 1,3 μm, la dispersión del silicio es nula y permite caudales considerables, mientras que la atenuación es reducida (<1 dB/km); a 1,6 μm está situado el mínimo absoluto de atenuación de las fibras ópticas (<0,5 dB/km), lo que lleva a las máximas distancias potenciales entre repetidores. A título de comparación, la atenuación a 0,85 μm es del orden de 2 dB/km. ¿Qué material elegir para obtener tales longitudes de onda? Para responder a esta pregunta es preciso tener en cuenta dos consideraciones: la primera es evidentemente la necesidad de obtener precisamente la longitud de onda deseada; la segunda corresponde a la tecnología del componente, puesto que el punto de partida de la realización de los láseres es el sustrato monocristalino sobre el cual se desarrollará el ciclo de epitaxia correspondiente a la doble heteroestructura láser.

Para que la epitaxia conduzca a capas de buena calidad, es necesario que la capa epitaxial, aunque sea de diferente naturaleza que la del sustrato, tenga la misma dimensión cristalina que éste. En estas condiciones, la región de longitud de onda entre 1,1 μm y 1,6 μm puede obtenerse a partir de una aleación

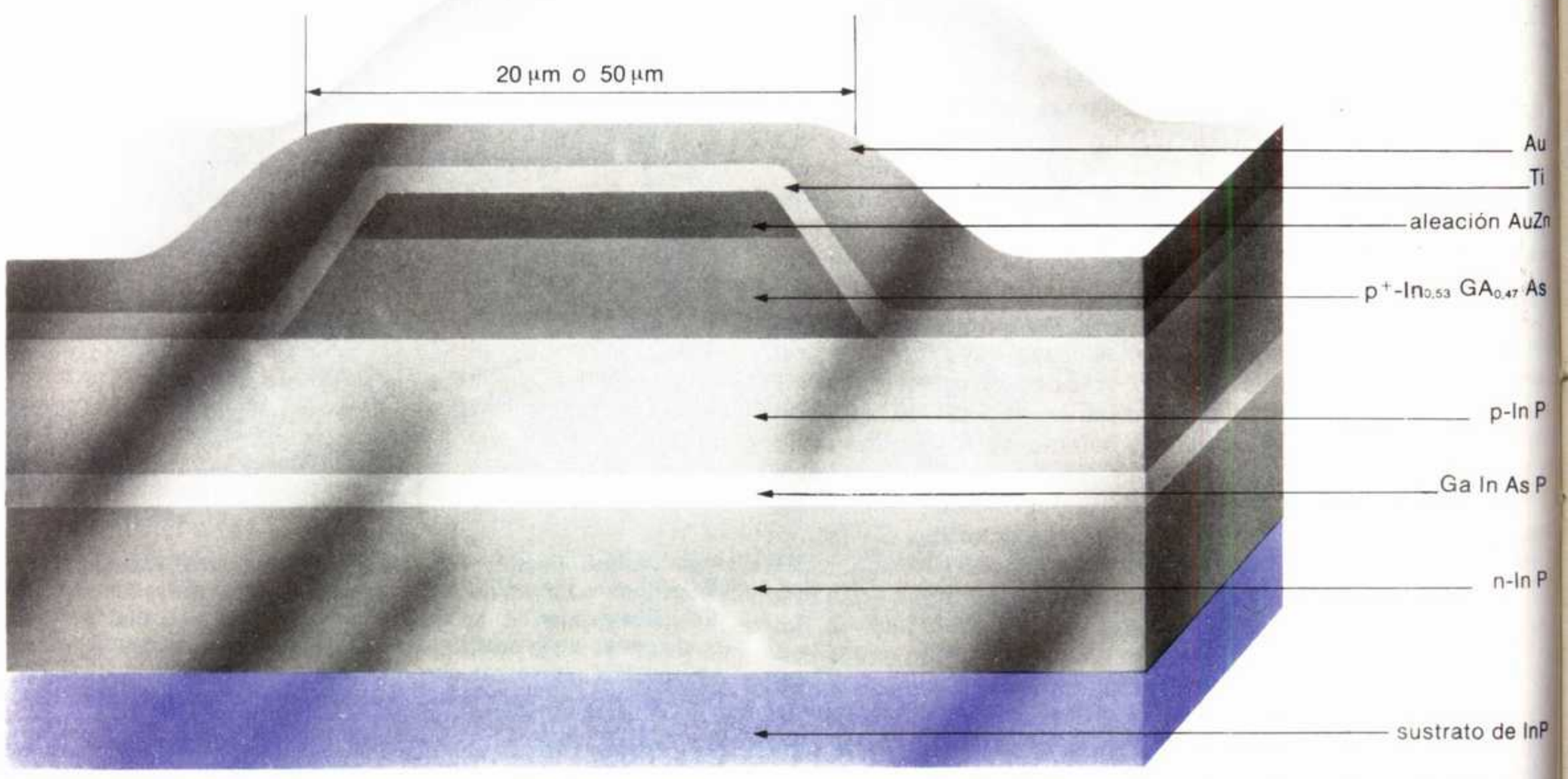


Figura 6. **En el láser de 1,3 μm propuesto por el CNET, la estructura en cinta no necesita ni implantación de protones ni deposición de dieléctrico. El paso de corriente está limitado a una cinta de 20 μm de anchura, por ejemplo, actuando sobre las diferentes propiedades del contacto Au-Zn sobre InGaAs y Ti sobre InP. El primer contacto es óhmico, mientras que el segundo es un contacto con propiedades rectificadoras: contacto Schottky. Si el diodo láser está adecuadamente polarizado, los contactos Schottky de cada parte de la cinta quedan polarizados en sentido inverso e impiden el paso de la corriente, la cual no puede establecerse más que a lo largo de la cinta.**

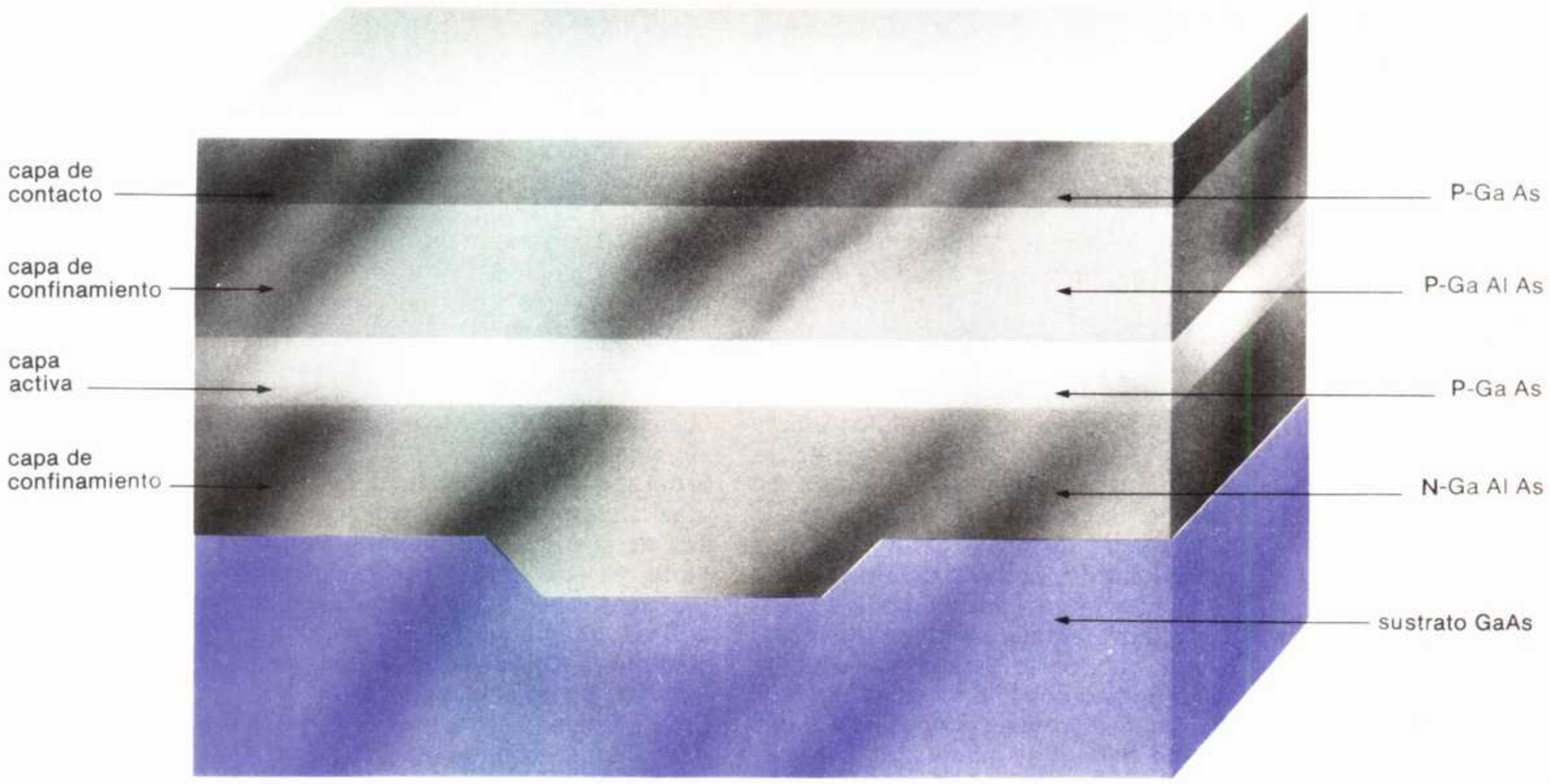


Figura 7. **En la estructura CSP, Channelled Substrate Planar, desarrollada por Hitachi, el guiado lateral en la capa activa se debe a una variación del índice efectivo en el plano de la capa activa inducida por la diferencia de espesor de la capa de GaAlAs-N que hay entre la zona central de la cinta y las zonas laterales. En esta configuración, antes de la epitaxia se realiza en el sustrato un surco de algunas micras de anchura y de aproximadamente 1 μm de profundidad. El crecimiento de la capa de confinamiento de GaAlAs-N, com es más rápido por encima del surco que a una y otra parte del mismo, puede hacerse de manera que se obtenga una superficie muy plana de esta capa más allá de 2 a 3 μm de espesor. Seguidamente se continúa el crecimiento de la doble heteroestructura en la forma usual. Así, la capa activa de espesor constante tiene encima un espesor de capa de confinamiento más importante en el centro de la estructura que en los bordes. En estas condiciones, el índice efectivo en el plano de la capa activa presenta una diferencia entre la región de la cinta y las regiones laterales. Esta diferencia de índice estabiliza la radiación emitida en la región de la cinta.**

seudobinaria de cuatro elementos (cuaternaria) de composición $Ga_{1-x}In_xAs_{1-y}P_y$ sobre un sustrato de InP. La longitud de onda máxima que puede obtenerse, cercana a 1,6 μm corresponde a $Ga_{0,47}In_{0,53}A_s$, mientras que la longitud de onda de 1,3 μm se obtiene con la composición $Ga_{0,29}In_{0,17}As_{0,62}P_{0,38}$. Los primeros láseres de doble heteroestructura para estas longitudes de onda se realizaron en el Lincoln Laboratory del MIT en 1976, por J.J. Hsieg.(7) Los laboratorios mundiales de Estados Unidos, Japón y Europa se dedican a intensivos trabajos para conseguir el dominio de estos componentes. En la actualidad, el CNTE tiene en desarrollo y en curso de industrialización una estructura de láser GaInAsP-InP(8) que funciona en régimen continuo a la temperatura ambiente, de 1,3 μm a 1,55 μm, según sea la composición de la capa activa. Con esta estructura se define una cinta para el caso de la corriente que no necesita implantación de protones ni deposición de capa dieléctrica (fig. 6).

Hasta los años 1975, los primeros láseres GaAs-GaAlAs de doble heteroestructura presentaban efectos de degradación que limitaban su duración de vida la cual, en algunos casos, no sobrepasaba de algunas horas o decenas de horas. Hoy en día se anuncian duraciones de vida del orden del millón de horas, valor obtenido por extrapolación de las medidas a alta temperatura (70 °C), en las que los efectos de degradación se aceleran. El origen de estas degradaciones es esencialmente del desarrollo de dislocaciones, a partir de dislocaciones preexistentes, hasta la zona activa. Las causas de las degradaciones son diversas: calidad cristalina del sustrato, que debe estar prácticamente exento de defectos, perfección del rayado de las caras emisivas y protección de las mismas, calidad del tallado de las pastillas láser y elección de los metales de contacto, que no deben inducir esfuerzos excesivos en el material semiconductor. Como todos estos fenómenos son activados por la temperatura, es evidente que se tiene un gran interés en reducir en lo posible la corriente de funcionamiento del láser. Además, para la transmisión por fibras ópticas, el usuario reclama una configuración geométrica de la radiación salida del láser que sea tan estable como sea posible para poderla inyectar en fibras de sólo algunos micrómetros. Con este fin se han realizado diversas estructuras derivadas del láser de doble heteroestructura clásico. Todas ellas obedecen al siguiente principio: las capas de confinamiento de la doble heteroestructura localizan la radiación láser en la zona activa, que constituye una guía óptica plana. En este plano, la radiación láser puede presentar inestabilidades laterales que se reducen, induciendo en una parte y otra de la zona emisiva, una variación de índice necesaria para el guiado lateral. Diversas soluciones, todas más o menos complicadas, han sido propuestas por diferentes laboratorios, en particular por los japoneses. ¿Es que cada laboratorio japonés no tiene su propia estructura original? En la estructura CSP, «Cannelled Substrate Planar», puesta a punto por K. Aiki de Hitachi en 1977,(9) la variación de índice se obtiene actuando sobre el espesor de la capa de confinamiento de tipo N mediante un surco inscrito en el sustrato (fig. 7). En la estructura «Diffused Bombarded Stripe» (DBS) puesta a punto en el CNET, se procede a realizar una difusión selectiva de cinc a una y otra parte de la cinta. Estas estructuras permiten obtener un funcionamiento estable a potencias superiores a 20 mW.

Otra limitación del láser de doble heteroestructura se debe a la evolución de la longitud de onda emitida en función de la corriente de excitación (fig. 3). Este efecto se debe a la variación de la energía de banda prohibida del material semiconductor con la temperatura. Pa-

(7) J.J. Hsieh y otros, *Appl. Phys. Letters, 28,* 709, 1976.
(8) J.C. Bouley y otros, *Appl. Phys. Letters, 38,* 845, 1981.

ra estabilizar la longitud de onda de emisión, H. Casey y sus colaboradores de Bell Laboratories[10] propusieron en 1975 realizar en la zona activa una red cuyo paso fijase la longitud de onda de emisión. En estas condiciones, la retroacción que produce la oscilación queda asegurada por la red y ya no por las caras talladas, siempre que su paso sea un múltiplo de la mitad de la longitud de onda del láser. Esta solución es tecnológicamente complicada, porque necesita que el proceso de epitaxia se interrumpa después de la realización de la capa activa, realizar por fotograbado y ataque químico en esta capa activa muy delgada (0,1 μm a 0,2 μm) una red que no la perturbe y, seguidamente, reemprender la epitaxia para terminar la doble heteroestructura. Otra ventaja de estos láseres de redes distribuidas en la zona activa es que permiten prescindir de los habituales espejos tallados; lo que permite considerar la integración del dispositivo láser con otros componentes: detector y modulador. Otro medio que permite estabilizar la longitud de onda de emisión consiste en realizar la capa activa mediante una superred (véase *Mundo Científico,* nº 1, pág. 82). Una superred como ésta consiste en un apilado de unas diez capas alternadas de GaAs y de GaAlAs, cada una de ellas sin sobrepasar un centenar de angströms. En estas condiciones, el efecto cuántico asociado al espesor extremadamente pequeño de las capas alternadas se traduce en la aparición, en las bandas de energía del semiconductor, de niveles de energía discretos y bien definidos, entre los cuales se produce la transición láser. Además, esta configuración de la zona activa modifica la configuración geométrica del haz emergente, lo que facilita la inyección de la luz a la fibra óptica. Sin embargo, la configuración de la zona activa, en superred, complica notablemente la tecnología de realización de las dobles heteroestructuras. En particular, debe observarse que, para dominar espesores tan pequeños de un centenar de angströms, la epitaxia líquida debe ceder el sitio a otras tecnologías como la epitaxia al vapor o, mejor aún, la epitaxia por chorro molecular, ambas aplicadas con éxito.

De los componentes discretos a los componentes integrados: hacia la microoptoelectrónica

Como se ha visto, los láseres de semiconductores, GaAs-GaAlAs o GaInAsP-InP constituyen un buen ejemplo de componentes optoelectrónicos en los que la innovación y la perseverancia de los investigadores han permitido pasar, en unos quince años, del estadio de efecto de laboratorio al de un componente utilizable en diversas aplicaciones: telecomunicaciones ópticas, telemetría, video-disco, etc. Además, los materiales críticos para estas aplicaciones, las aleaciones semiconductoras III-V, gracias a sus propiedades físicas, presentan bastantes más perspectivas. Con respecto al silicio, que no puede realizar la función de emisión de luz, estos compuestos poseen además propiedades eléctricas sensiblemente mejores. Éstas se aprovechan en los transistores de efecto de campo para hiperfrecuencias de GaAs, cuya frecuencia máxima de trabajo es bastante superior a la del silicio (60 GHz en lugar de 10 GHz) y se utilizan en las transmisiones por haz hertziano o por satélite. Por otra parte, ya empiezan a realizarse industrialmente circuitos GaAs lógicos o analógicos integrando sobre una misma plaquita de GaAs varios centenares de transistores de efecto de campo.

Así, teniendo en cuenta el logro tecnológico que permite realizar al estado de componente discreto y con aleaciones III-V emisores de luz (láseres o diodos electroluminiscentes), fotodetectores, moduladores electroópticos y componentes del tipo transistor de efecto de campo o transistor bipolar, los próximos desarrollos de la electrónica a base de GaAs o InP corresponderán no sólo a los circuitos integrados puramente eléctricos sino también a circuitos mixtos ópticos y eléctricos en los que, sobre una misma plaquita, se tratará de forma indistinta la señal en forma óptica o en forma eléctrica. La realización de circuitos integrados GaAs que desempeñan la función de repetidor para telecomunicaciones ópticas ya está en estudio, en particular en Estados Unidos y Japón. Los primeros ensayos se han realizado con el arseniuro de galio GaAs, que posee la propiedad poco extendida de tratar indistintamente las señales ópticas y eléctricas. A más largo plazo puede pensarse en circuitos más ambiciosos que incluyan, por ejemplo, la función de amplificación óptica, en GaAs, y que permiten la regeneración de la señal óptica directamente sin tener que realizar la transposición ópticoeléctrica. También pueden considerarse bastantes más ejemplos relacionados con el desarrollo de las telecomunicaciones ópticas, ya sean circuitos integrados para centrales de conmutación óptica o bien circuitos de tratamiento de la señal en casa del abonado.

¿Cuál será el material III-V crítico para estos futuros circuitos microoptoelectrónicos? La respuesta no es sencilla entre los dos candidatos que son las aleaciones basadas en el sistema GaInAsP-InP y el sistema GaAlAs-GaAs. El primer sistema presenta la ventaja de corresponder a longitudes de onda luminosas mejor adaptadas a las transmisiones óptimas de las fibras ópticas; el segundo, que no presenta esta ventaja, puede beneficiarse del avance tecnológico del material GaAs y de la sinergia con el desarrollo de los circuitos integrados puramente eléctricos de GaAs. Pero también puede tener importancia otra consideración. En efecto, las aleaciones III-V, en particular las basadas en el sistema GaInAsP-InP, ofrecen una variedad muy grande de propiedades físicas, eléctricas u ópticas. Así puede considerarse la optimización de la propiedad elegida ajustando la composición de la aleación realizando en ella una verdadera ingeniería del material. Además, si bien es cierto que son bastante sofisticadas, tales realizaciones pueden considerarse a partir de métodos de crecimiento como la epitaxia por chorro molecular, que es posible que permita realizar, sobre una misma plaquita de sustrato, islotes semiconductores que correspondan a diversas composiciones de la aleación.

En resumen, a partir de los trabajos realizados sobre los láseres de semiconductores, las aleaciones de materiales III-V ofrecen magníficas posibilidades de innovación tanto para el físico, que determina la relación entre la composición del material y sus propiedades físicas, como para el tecnólogo que deberá convertirlas en aplicables y para el diseñador que deberá definir las nuevas funciones que permitirá realizar la microoptoelectrónica. Sin duda alguna, de la fecundidad de sus respectivos trabajos y de sus diálogos depende lo que, dentro de algunos años, podría aparecer como una nueva revolución de la electrónica... ■

Para más información:

Una obra de base muy completa sobre los láseres:

■ A. Yariv, *Quantum electronics,* John Wiley, 1967.

Sobre los láseres de semiconductores:

■ H. Kressel y J.K. Butler, *Semiconductors lasers and heterojunction leds,* Academic Press, 1977.
■ H. Casey Jr. y M.B. Panish, *Heterostructure lasers,* Academic Press, 1978.
■ G.H.B. Thomson, *Physics of semiconductor laser devices,* John Wiley, 1980.

Un artículo de revista en francés:

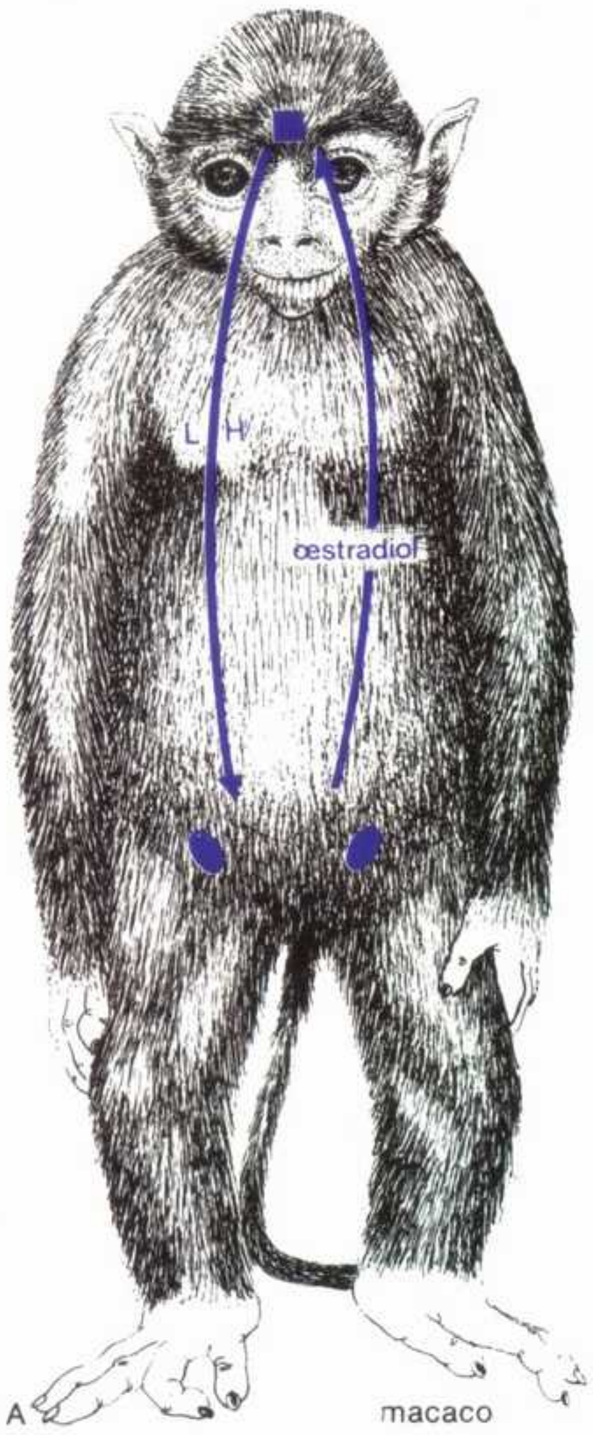
■ J.P. Noblanc, «Les semiconducteurs III-V face au défi de la microoptoélectronique», *L'écho des recherches,* p. 43, mayo 1980.

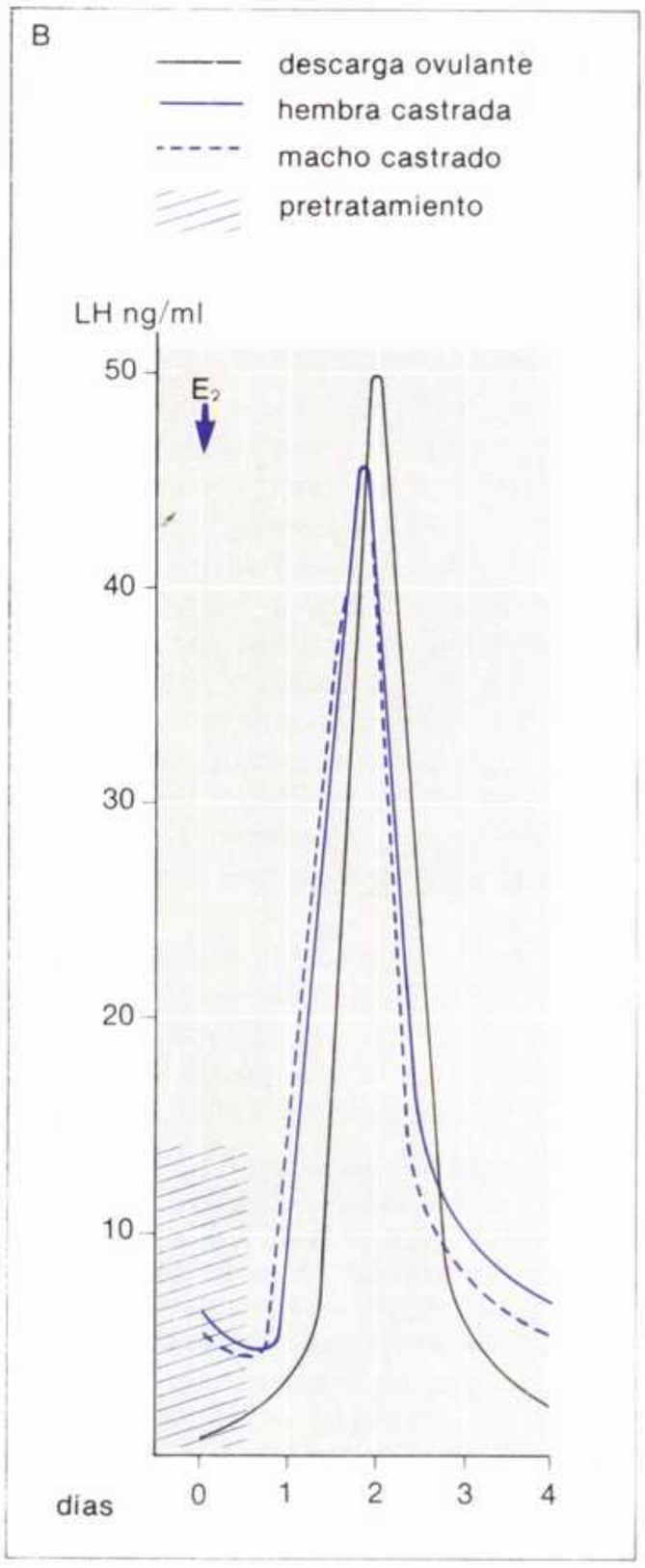
(9) K. Aiki y otros, *Appl. Phys. Letters, 30,* 469, 1977.
(10) H. Casey y otros, *Appl. Phys. Letters, 27,* 142, 1975.

¿Tiene «sexo» el sistema nervioso?

■ El funcionamiento del cerebro del macho es distinto del de la hembra, y esta diferencia determina los múltiples aspectos del comportamiento sexual del adulto y la actividad de sus gónadas: cíclica en el ovario, con ovulaciones con intervalos regulares, y continua en el testículo, con producción diaria de miles de espermatozoides. En 1936, y a partir de estudios con ratas, Pfeiffer apuntó por primera vez la idea de que el cerebro está «sexuado», al igual que lo están los órganos genitales. Su hipótesis era tan seductora y tan lógica que la admitieron numerosos investigadores, y hasta fue generalizada a todos los mamíferos, inclusive el hombre. Prueba de ello es la cantidad de artículos que se han publicado recientemente tanto en la gran prensa como en las revistas especializadas, que parecen confirmarlo.(1)

¿Cómo y cuándo se produjo la sexualización del cerebro? El descubrimiento, hace unos veinte años, de que el testículo del macho secreta transitoriamente importantes cantidades de hormona





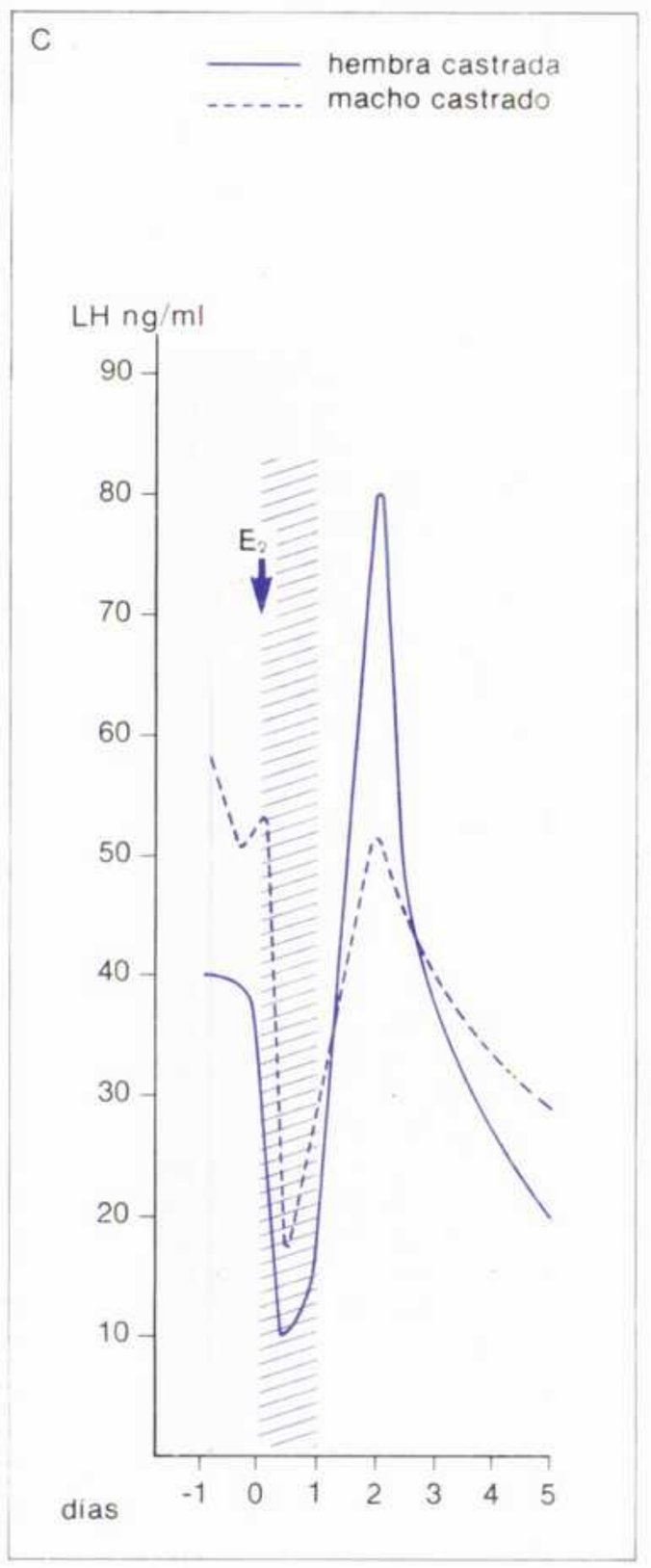


Figura 1. **¿Es capaz el cerebro de la hembra de asegurar por si solo el ciclo de los ovarios y, por lo tanto, la ovulación? Hoy en día, el minucioso estudio de la acción de las hormonas sobre el sistema nervioso central demuestra que la feminización del cerebro no es un carácter tan definitivo como se podía pensar.**
A. **El sistema nervioso central controla la actividad de las gónadas (ovarios y testículos) mediante dos glándulas: el hipotálamo y la hipófisis. El primero elabora las hormonas que regulan la actividad de la hipófisis. Ésta secreta hormonas (especialmente la LH) que estimulan las gónadas. Mientras en el macho la secreción de LH es relativamente constante, la hembra se caracteriza por una descarga cíclica de LH (descarga ovulante) responsable de la ovulación. A su vez, la secreción de LH está regulada, en ambos sexos, por las hormonas sexuales, estradiol en la hembra y testosterona en el macho.**
B. **en el** *Macaca rhesus,* **cuando un macho o una hembra castrados sufren un pretratamiento con estradiol antes de una fuerte dosis (E2I) capaz de provocar una descarga de LH, dicha descarga, aunque no igual, es muy parecida a la descarga ovulante natural. En cambio, en una hembra o un macho castrados, pero sin el pretratamiento, las descargas obtenidas son diferentes** (C).
Conclusión: si se reúnen las condiciones necesarias para que se produzca una descarga normal de LH, el cerebro del macho se puede comportar como el de una hembra. Es notable que en los animales castrados el nivel de LH es mucho mayor que en los animales normales; y ello se debe a que la secreción de los primeros no está controlada por los esteroides del testículo o del ovario. El primer efecto de un tratamiento con estradiol es siempre una reducción de la secreción de LH. Seguidamente, si la dosis es suficientemente elevada, puede producirse una descarga de LH.

(1) Mac Lusky y Naftolin, *Science, 211,* 1294, 1981; Mc Ewen, *Nature, 291* 610, 1981.

La «feminización» irreversible del cerebro: una conclusión precipitada.

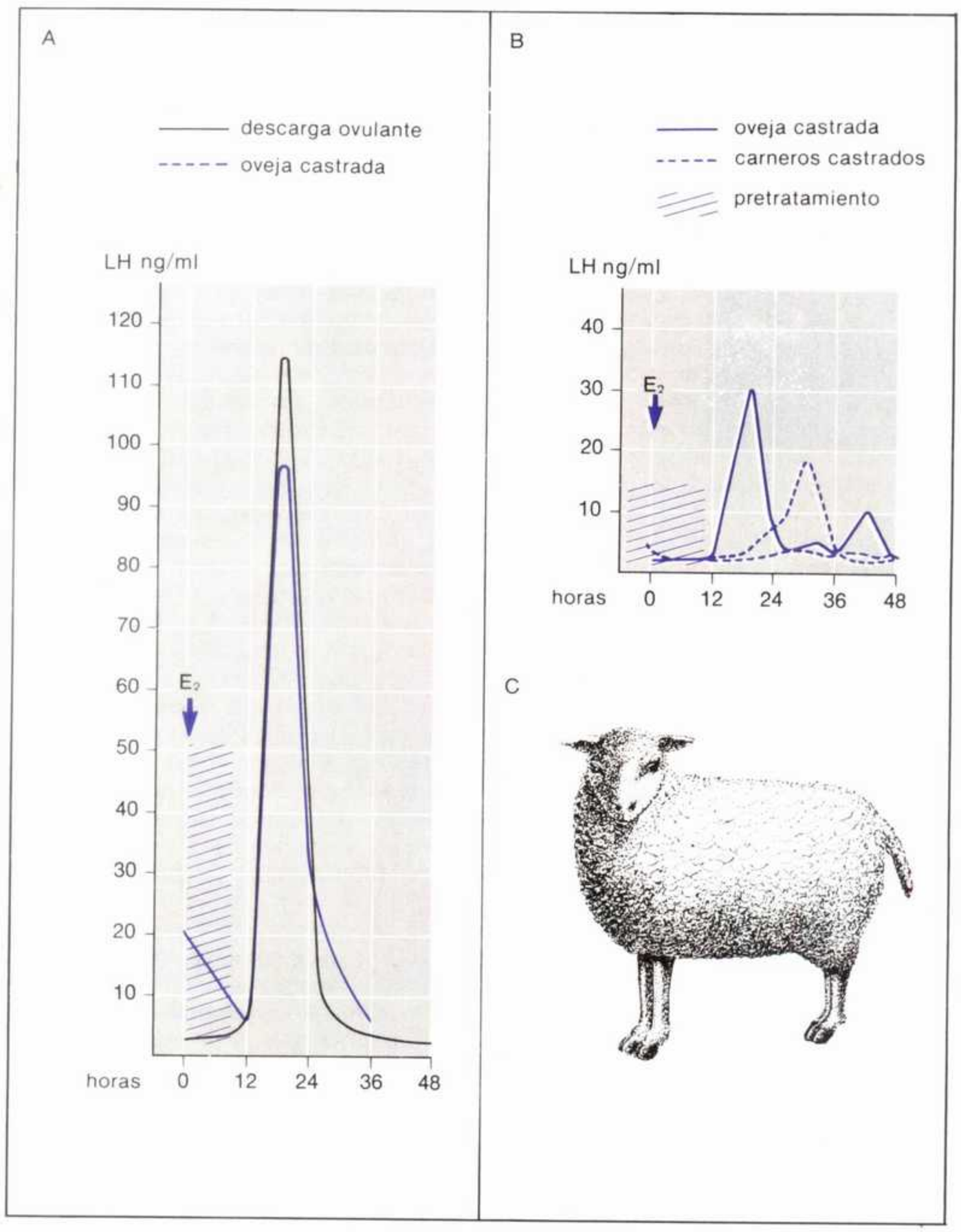


Figura 2. **Cuando la oveja castrada ha sufrido un pretratamiento de estradiol** (B), **el suministro de una fuerte dosis no provoca más que una pequeña y errática descarga de LH. En cambio, la descarga provocada en una oveja castrada, pero sin pretratamiento** (A) **¡es mucho más parecida a la descarga ovulante! No se puede asegurar que, en la oveja castrada, el estradiol provoque un esbozo de descarga como en el macaco (sin pretratamiento), pero probablemente es así.**[12] **El pretratamiento, que es desfavorable para la descarga de LH en la oveja, evidentemente también lo es en el carnero** (B).

(testosterona) antes o después del nacimiento, según las especies, hizo pensar en un efecto irreversible de la hormona en la organización del cerebro macho en este momento concreto del desarrollo. Por el contrario, en la hembra, la ausencia de toda hormona durante este mismo período crítico ocasionaría una «feminización», igualmente irreversible, de las estructuras nerviosas.

Sin embargo, hoy estas conclusiones resultan un poco precipitadas. Antiguas investigaciones sobre el determinismo del comportamiento sexual ya mostraban que, mediante la inyección de hormonas, se puede inducir en una hembra un comportamiento típico del macho, y viceversa. Estos resultados, confirmados por otros estudios, hacen que actualmente sea difícil aceptar la idea de que las estructuras nerviosas implicadas en el comportamiento sexual estén irreversiblemente «sexuadas» (*La Recherche,* nº 16, p. 845, 1971).

Por lo que respecta a otro aspecto de la fisiología nerviosa sexual, el del control cerebral del funcionamiento de las gónadas, las investigaciones más recientes se encaminan en el mismo sentido. Con los trabajos de Pfeiffer se pensaba que el ciclo de los ovarios, y por tanto de la ovulación, sólo podía asegurarlo el cerebro de la hembra; hoy se sabe que esta feminización del cerebro no tiene un carácter tan definitivo. Estos resultados se han conseguido gracias al desarrollo de métodos muy precisos de dosificación de hormonas y al estudio pormenorizado de la acción de las mismas sobre el sistema nervioso central.

Una conclusión precipitada

Volvamos a los trabajos de Pfeiffer. Fue con estudios sobre la rata con los que este científico estadounidense y sus seguidores llegaron a la conclusión de que en los días que seguían al nacimiento se producía una diferenciación sexual del sistema nervioso. Efectivamente, en la rata, mientras el testículo secreta testosterona durante algunos días después del nacimiento, el ovario no secreta ninguna hormona. Ahora bien, Pfeiffer demostró que la inyección de testosterona en una hembra, justo después del nacimiento, la hacía incapaz, una vez adulta, de asegurar el funcionamiento cíclico de sus ovarios, y por lo tanto de la ovulación. Inversamente, mientras un macho castrado al nacer puede, ya adulto, asegurar el funcionamiento cíclico de un ovario injertado, un macho castrado más tarde ya no será capaz de asegurar dicho funcionamiento. Se imponía una conclusión: solamente el sistema nervioso de la hembra era capaz de asegurar un funcionamiento cíclico que permita la ovulación.

El responsable es el hipotálamo, grupo de núcleos nerviosos situados en la base del cerebro. A nivel global, se puede decir que ya se conoce el mecanismo por el que el sistema nervioso controla la actividad de las gónadas (fig. 1). La hipófisis secreta las hormonas que estimulan las gónadas, mientras que el hipotálamo elabora las hormonas que regulan la actividad de la hipófisis. Ahora bien, si a una hembra se le extirpa su hipófisis y se le transplanta una hipófisis de macho, mantiene la actividad cíclica del ovario. En el macho, la secreción de hormonas de la hipófisis, en especial la LH, es relativamente constante, mientras que la hembra se caracteriza por una descarga cíclica de LH responsable de la ovulación. Sin embargo, en ambos sexos, la secreción de LH es, a su vez, regulada por las hormonas sexuales (o esteroides) elaboradas por las gónadas: cuando aumente la secreción de esteroides, el hipotálamo y la hipófisis lo captan y responden disminuyendo la secreción de LH; sólo cambia la naturaleza del principal esteroide que interviene, testosterona en el macho y estradiol y progesterona en la hembra. De todas formas, en la hembra, el estradiol y sólo él, es capaz de ejercer un efecto opues-

to cuando se produce en cantidades importantes: en este caso, induce una elevación brutal de la secreción de LH, una descarga de LH. Y esto es, precisamente, lo que ocurre poco antes de la ovulación. En estas condiciones, era lógico suponer que sólo la hipófisis de la hembra, y más en general su sistema nervioso, era capaz de responder a dosis elevadas de estradiol para desencadenar la ovulación. Así pues, fue ampliamente admitido el carácter universal de la conclusión de Pfeiffer.

El macaco: un caso ejemplar

En contra de los resultados de Pfeiffer, el experimento más sencillo es el realizado por Hodges en 1980 en Edimburgo:[2] consiste en reproducir en el macho los niveles de estradiol observados en la hembra antes de la ovulación. En estas condiciones, un tití macho presenta, al igual que la hembra, una descarga de LH. Esta situación simple es excepcional. Sin embargo, evidencia que la diferenciación sexual del sistema nervioso no es un dato fundamental en el desarrollo de los mamíferos comparable a la diferenciación de los órganos genitales.

El estudio detallado de la acción de los esteroides en la regulación de la secreción de LH permite aclarar este problema. Estos estudios se realizan con animales castrados porque así es más fácil descubrir el papel propio de cada esteroide. Tomemos el ejemplo del *Macaca rhesus* (fig. 1).

En una hembra castrada, la inyección de una fuerte dosis de estradiol ocasiona una descarga de LH, que, sin embargo, no es comparable, por su magnitud, a la auténtica descarga ovulante. Si, por el contrario, se mantiene durante un mes un ligero nivel de estradiol, a fin de «simular» aproximadamente lo que ocurre de manera natural antes de la ovulación, la inyección de una fuerte dosis de estradiol desencadena una descarga de LH muy similar a la descarga ovulante.[3,4] Si a un macho castrado se le aplica el mismo tratamiento con estradiol se provoca la misma descarga de LH que en la hembra. La preparación con estradiol a baja dosis es indispensable, ya que la inyección, sin pretratamiento, de una fuerte dosis a un macho castrado, no provoca más que un esbozo de descarga de LH.

Este experimento evidencia dos fenómenos importantes. Por de pronto, si bien el estradiol posee la propiedad fundamental de provocar la descarga de LH, no se producirá una descarga comparable a la auténtica descarga ovulante si no se reúnen determinadas condiciones. En el macaco, consiste en la presencia de estradiol a nivel bajo durante algunas semanas. Pero la conclusión más importante es que si se presentan las condiciones necesarias para que se produzca una descarga de LH normal, el sistema nervioso del macho se puede comportar como el de la hembra.

Simular las condiciones naturales

Desgraciadamente, el macaco es el único mamífero con el que se ha realizado una experimentación tan ejemplar. En la oveja y el carnero castrados, el tratamiento previo con pequeñas dosis de estradiol no permite obtener una descarga normal de LH (fig. 2). Ciertamente, una oveja castrada tratada con estradiol durante tres semanas responde con una descarga de LH cuando el nivel de aquél aumenta brutalmente. Pero esta descarga es débil y anormal. El hecho de que los carneros castrados sometidos al mismo tratamiento presenten raramente débiles descargas de LH no es suficiente para concluir que existe una diferencia fundamental entre machos y hembras. Antes hay que descubrir los reguladores de la acción del estradiol en la descarga ovulante. En la oveja, la progesterona desempeña un importante papel. En efecto, si se simulan los niveles de estradiol y progesterona observados en el curso de un ciclo ovárico normal en una oveja castrada, es posible provocar una descarga de LH casi normal.[6]

En el hombre, las observaciones realizadas permiten suponer que no hay diferencias fundamentales entre los dos sexos. En hombres y mujeres que han tenido que sufrir la ablación de los testículos (orquidectomía) o de los ovarios (ovariectomía), un tratamiento con estradiol que proporcione niveles comparables a los que preceden a la descarga ovulante provoca una descarga LH, pero muy anormal.[7,8] Es, pues, poco probable que el estradiol provoque por sí solo la descarga de LH, como ocurría en el macaco. Por contra, hay un producto de secreción de las gónadas que seguramente interviene como regulador de la descarga de LH; sin embargo, todavía no se ha determinado la naturaleza de este producto. De hecho, en el hombre normal, con dosis elevadas de estradiol provocan un esbozo de descarga de LH mucho más comparable a la descarga ovulante que las obtenidas en los hombres y mujeres gonadectomizados.[9]

Descubrir los reguladores

Volviendo a la rata, el hecho de la «sexualización del sistema nervioso» supuestamente adquirida no ha sido confirmado por ninguna investigación experimental seria. No obstante, varios equipos de investigadores han demostrado que, después de un tratamiento agudo con estradiol, la hembra castrada presenta una descarga de LH[10] Pero esta descarga no es comparable a la descarga ovulante. Efectivamente, la rata presenta una particularidad: la descarga de LH, que se produce normalmente cada cuatro o cinco días, tiene lugar siempre a primeras horas de la tarde y en ningún otro momento del día. En la hembra castrada, la descarga provocada es larga y errática: un solo tratamiento agudo con estradiol comporta una descarga de LH que se produce todas las tardes durante varios días. Si bien la ausencia total de descarga en el macho castrado evidencia que la diferencia entre sexos es más importante en la rata que en el hombre o el macaco, ello no permite concluir que exista una diferencia fundamental mientras no se descubran los reguladores de la acción del estradiol en la descarga ovulante. El experimento realizado por tres investigadores, en la Universidad Humbolt de Berlín, demuestra que no es totalmente imposible obtener el desencadenamiento de una descarga de LH en una rata macho.[11] En los machos castrados, con una dosis elevada de estradiol se provoca una pequeña descarga de LH siempre que se haya realizado el pretratamiento de dos semanas de estradiol a dosis bajas. Ciertamente, la descarga es muy débil si la comparamos con la obtenida en la hembras castradas y sometidas al mismo tratamiento, pero habría que saber si esta descarga es normal, y no es éste el caso.

La mujer no es una rata...

Cierto es que las informaciones de que disponemos son fragmentarias. Sin embargo, si bien se sabe que las estructuras nerviosas (hipotálamo e hipófisis) implicadas en la producción de una descarga cíclica de LH son modificadas por los esteroides, el carácter definitivo de su acción en un momento dado del desarrollo del sistema nervioso aparece como muy dudoso. Quizás, el rápido desarrollo de la rata (y de otros roedores, como ratones, hamsters, etc.) explique las consecuencias aparentemente más graves de la presencia de un esteroide en un momento dado de la evolución del sistema nervioso que cuando se trata de otros mamiferos de evolución más lenta.

Marie-Claire Levasseur y Catherine Allais.

(2) Hodges, *J. Reprod. Fert., 60,* 389, 1980.
(3) Karsch, Dierschke y Knobil, *Science, 179,* 484, 1973.
(4) Yamaji, Dierschke, Hotchkiss, Bhattacharya, Surve y Knobil, *Endocrinology, 89,* 1034, 1971.
(5) Karsch y Foster, *Endocrinology, 97,* 373, 1975.
(6) Karsch, Legan Ryan y Foster, *Biol. Reprod., 23,* 404, 1980.
(7) Yen y Tsai, *J. Clin. Endocr. Métab., 33,* 882, 1971.
(8) Barbarino y De Marinis, *J. Clin. Endocr. Métab., 51,* 280, 1980.
(9) Kulin y Reiter, *Pediat. Res., 10,* 46. 1976.
(10) Neill, *Endrocrinology, 90,* 1154, 1972.
(11) Dörner, Götz y Rohde, *Endokrinologie, 66,* 369, 1975.
(12) Schanbacher y Ford, *Endocrinology, 100,* 387, 1977.

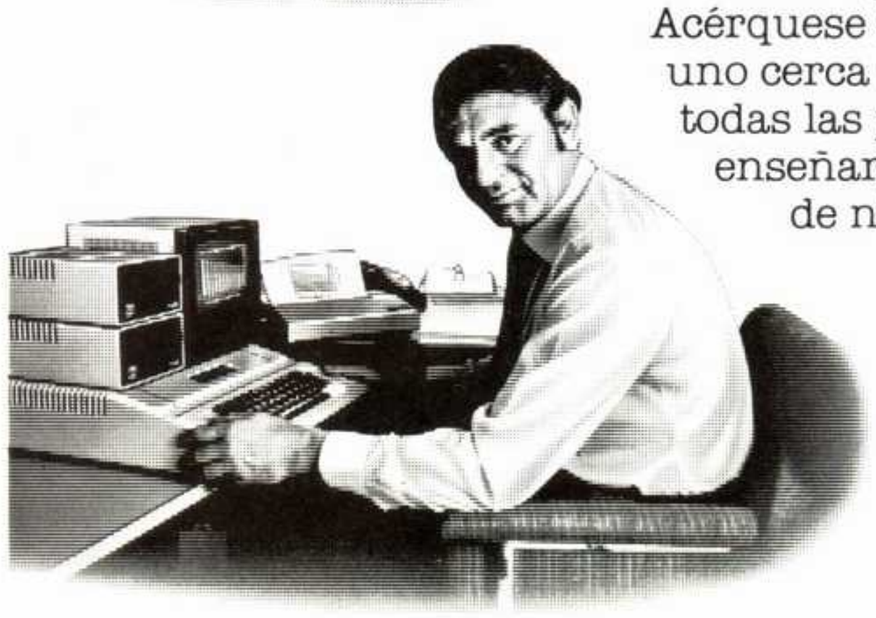
Apple todo lo que

Todo lo que Vd. pueda imaginar ya está previsto en un Apple II.

Apple II es un pequeño ordenador, el más personal del mercado, que se adapta a todas sus necesidades, las profesionales y las más privadas.

Dispone de 60.000 programas y puede realizar tantos modelos de gráficos como Vd. desee, imprimir cartas eligiendo Vd. mismo el tipo de letra, hacer el cálculo de estructura de una casa e incluso jugar una partida de ajedrez.

Acérquese al distribuidor Apple, siempre hay uno cerca de Vd. El le informará ampliamente de todas las posibilidades de gestión de Apple y le enseñará cómo manejarlo. Es como un juego de niños.



apple II®
para ordenar.

Apple es una marca registrada de Apple Computer INC.

dosmil 80

Controla, calcula, archiva,
imprime, compara, analiza, gestiona,
factura, consulta, prevé, investiga,
diseña, contabiliza, presupuesta,
transcribe,
programa...

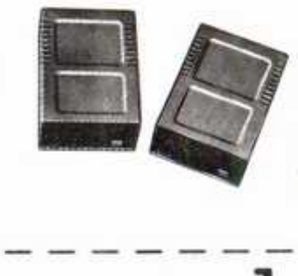
ordena

vd. mande

Sistema de computador personal de fácil manejo, con teclado como una máquina de escribir. P.V.P. 224.000 pts.

Monitor de 12", con pantalla verde, para no cansar la vista. P.V.P. 24.000 pts.

Discos Floppy de 124K de memoria. P.V.P. 105.000 pts. unidad.



Impresora para obtención de datos en papel. P.V.P. 136.000 pts.

Sea cual sea su trabajo, su hobby o su negocio, con un Apple II le sacará mucho más partido.

Con un Apple II Vd. hace todo aquello que normalmente nunca tiene tiempo de hacer, o que le resulta algo complicado, desde tener el balance al día, hasta disponer de un archivo familiar completo.

Hay 600.000 Apple por todo el mundo, en empresas de todo tipo, trabajando sin parar para hacer más fácil el trabajo.

Teléfono para llamar

(91) 741 85 62

Cupón para mandar

Bresa, Marqués de Portugalete, 10. Madrid-27.

Desearia recibir más información acerca de Apple y tener una demostración práctica de Apple II.

Nombre y apellidos . . . . . .

. . . . . .

Dirección . . . . . .

. . . . . .

Empresa . . . . . .

Actividad . . . . . .

Ciudad . . . . . .

MC

Los cromosomas de los primates

por Bernard Dutrillaux

Bernard Dutrillaux es profesor de investigación en el CNRS y trabaja en el Instituto de progénesis en la Universidad de París V.

■ **Al microscopio óptico, el material hereditario aparece en las células bajo la forma de pequeños bastoncillos: los cromosomas. Durante mucho tiempo han sido difíciles de observar de manera detallada y el número exacto de cromosomas en el hombre no ha sido conocido ¡hasta 1956!**

■ **Sin embargo, desde los años 1970, las técnicas de observación de cromosomas han mejorado muchísimo. Se han podido comparar los cromosomas del hombre con los del chimpancé, gorila, orangután y en general con todos los primates.**

■ **Las variaciones de los cromosomas de una especie de primates respecto a otra permiten, en la actualidad, dibujar un árbol genealógico que comprenda desde los antepasados más lejanos de la especie humana hasta los más próximos.**

■ Una especie animal (o vegetal) se reconoce por sus características anatómicas, fisiológicas, bioquímicas... Todo individuo de una especie presenta unos caracteres determinados, y los transmite a sus descendientes. La permanencia de los caracteres propios de una especie a lo largo de generaciones está asegurada por una componente particular de los seres vivos: el material hereditario. El estudio del material hereditario y de sus variantes ha recibido siempre mucha atención por parte de los biólogos, tanto por sus implicaciones de tipo básico (diferenciación de las células durante el desarrollo, evolución de las especies...) como de tipo sanitario (malformaciones congénitas, enfermedades hereditarias...).

A finales del siglo XIX (1880), el biólogo alemán Wilhelm Roux fue el primero en comprender que el material hereditario no era otra cosa que los pequeños bastoncillos, llamados cromosomas, visibles al microscopio óptico en el núcleo de las células, en ciertos momentos del ciclo celular (fig. 1). La célebre escuela estadounidense de T.H. Morgan estableció a principios del siglo XX que los cromosomas llevan, en efecto, las unidades elementales de la herencia llamadas genes, como si fueran perlas de un collar. Desde entonces, y con el desarrollo de la bioquímica, una gran parte de los estudios sobre el material hereditario se ha concentrado en el gen, con lo que, a partir de 1945, se llega a un considerable desarrollo de la bioquímica pertinente, es decir, de la biología molecular. Paralelamente, los estudios sobre el aspecto global del material hereditario, es decir, los estudios sobre los cromosomas (o citogenética) han continuado. Es con ellos con los que se ha llamado la atención del público, desde que en 1959 J. Lejeune, M. Gautier, R. Turpin en el Instituto de Progénesis, París, descubrieron la primera anomalía numérica en los cromosomas del hombre: esta anomalía llamada trisomía 21 caracteriza a los niños con síndrome de Down.

De hecho, desde los años 1950 hasta principios de los 70, los estudios de citogenética en la especie humana han permitido conocer muchas anomalías cromosómicas y sus consecuencias patológicas. Sin embargo, es a partir de 1970, cuando los progresos técnicos en la observación de cromosomas han permitido ampliar estos estudios a la comparación precisa de los cromosomas humanos con los de los grandes monos o póngidos: orangután, gorila, chimpancé (*La Recherche* nº 44, p. 325, abril 1974). Estas especies de primates son consideradas como las más próximas a la especie humana por sus caracteres anatómicos, fisiológicos, bioquímicos, etc. Los grados de semejanza en la morfología de sus cromosomas constituyen un elemento suplementario para apreciar su parentesco. LLegamos pues a la hipótesis del antepasado simio del hombre que resume la expresión popular muy conocida de que «el hombre desciende del mono». La aparición del libro de Darwin en 1871 *The descent of man* suscitó una viva oposición. Más de cien años después, aún suscita pasiones.

¿Se parecían nuestros antepasados al chimpancé?

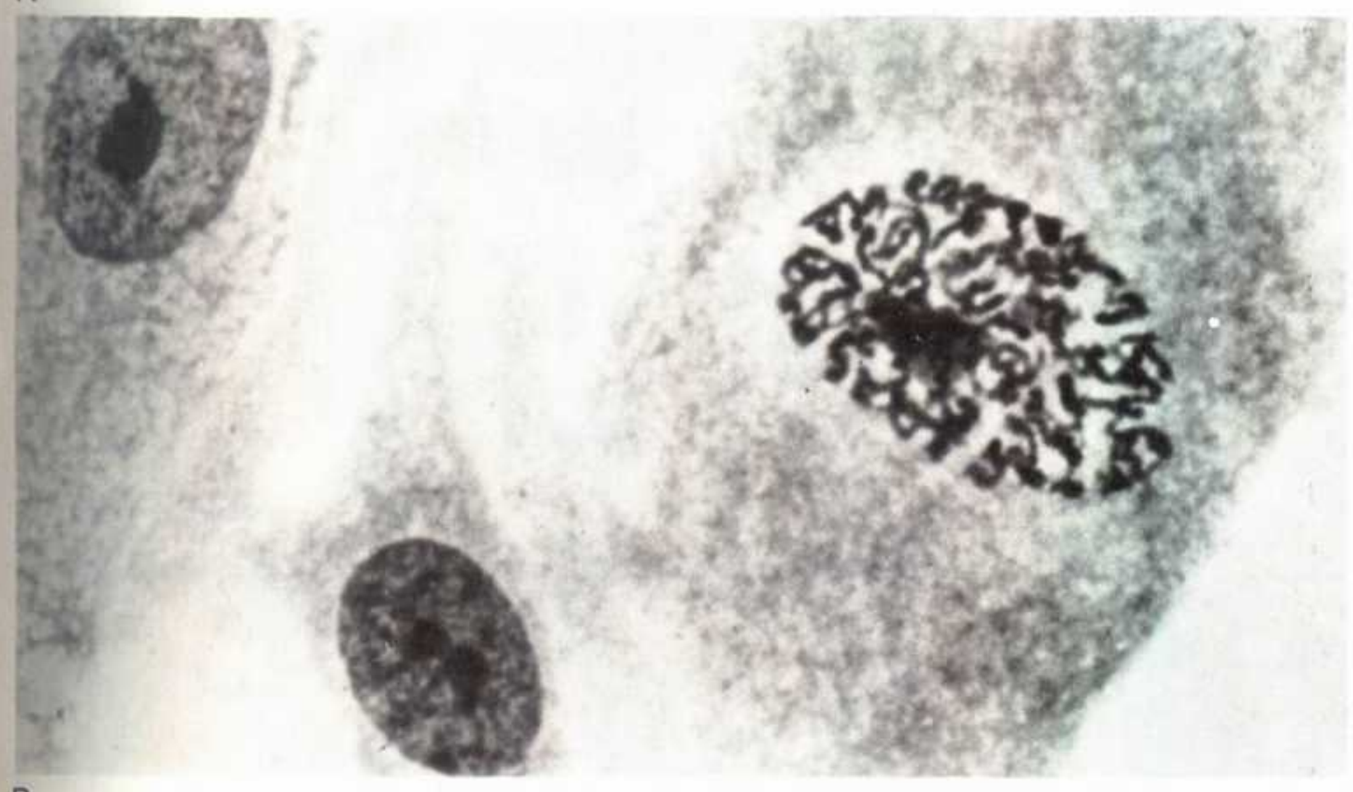
La hipótesis de Darwin había conmovido bastante la sensibilidad religiosa de su época: se trataba de negar la creación divina del hombre y a la vez atribuirle antepasados que pertenecían a un orden animal, así pues, inferior. La oposición religiosa a la teoría de Darwin se manifiesta aún en nuestros días, como ha quedado patente este último mes de marzo en el proceso intentado en el Estado de California por «los creacionistas», es decir, los partidarios de la creación del hombre tal como lo enseña el «Génesis» (P. Thuillier, «Biblia y Ciencia: Darwin en proceso», *Mundo Científico,* nº 6, p. 624, setiembre 1981).

Sin embargo, se ha de recordar que la expresión popular «el hombre desciende del mono» resume de forma equivocada la teoría de Darwin. Es decir, en realidad se trata de que «el hombre y los monos tienen antepasados comunes». Entre los biólogos, nadie pone en duda que el hombre y los monos posean numerosos caracteres comunes que les permiten estar clasificados en un mismo orden: el orden de los primates. A pesar de todo, en la actualidad, existe una viva controversia sobre el parentesco del hombre y los póngidos, centrada fundamentalmente en cuál ha sido el momento en que las respectivas líneas evolutivas se separaron (fig. 2). En el coloquio internacional sobre «los orígenes humanos y las etapas de la inteligencia» organizado en París por la Fundación Singer-Polignac, en junio de 1977, paleontólogos como J. Hürzeler y E. Genet-Varcin sostuvieron que la separación de la línea de los homínidos y la de los póngidos es muy antigua. Para J. Hürzeler, profesor del Museo de Historia Natural de Basilea, la separación se remonta a los inicios del Terciario, entre 40 y 60 millones de años.(1) La señora E. Genet-Varcin, profesora de la Universidad de París VI, la sitúa igualmente en esta época, y añade que se hizo antes de la separación de los monos del Viejo Mundo (o catarrinos) en cercopitecoides (papios, macacos...) y en póngidos (fig. 2A).(2) Según estos paleontólogos, no existe pues el estadio de un antepasado parecido al chimpancé en la línea de los homínidos.

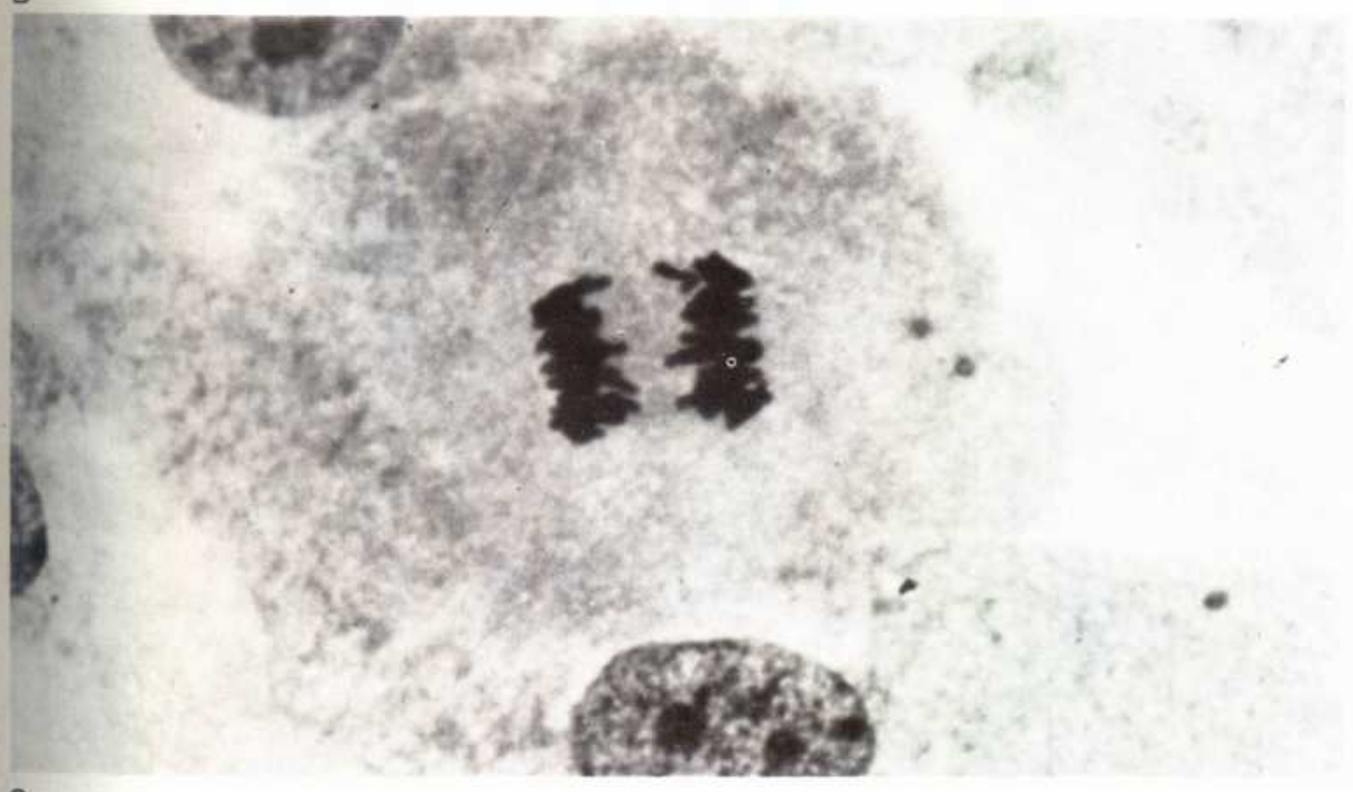
Estas posiciones se contraponen a la opinión de otros paleontólogos, como E.L. Simons, de Duke University (Estados Unidos), quien entiende que la bifurcación de homínidos y póngidos se presenta mucho más tarde, hacia el final de la era terciaria, en el Mioceno, es decir, alrededor de 15 millones de años. Para E.L. Simons, seguido en este caso por muchos paleontólogos,(3) la línea humana se destaca al término de una larga evolución de antepasados póngidos, los driopitecos. Ello significa que ha habido un estadio parecido al del chimpancé en la evolución de los homínidos. El primer homínido sería *Ramapithecus*, un póngido que apareció hace unos 10-15 millones de años y que presentaría por primera vez algunos caracteres homínidos,(4) tales como caninos de talla pequeña (*La Recherche*, nº 98, p. 260, marzo 1979). Esta forma de ver el

(1) J. Hürzeler, en *Les origines humaines et les époques de l'intelligence*, Masson, 5-12, 1978.
(2) E. Genet-Varcin, op. cit., 13-26.
(3) Véase sobre J. Hürzeler y E. Genet-Varcin, op. cit. 27-36.
(4) P. Andreux e I. Pekkaya, en *IXe Congrès de l'Union International des Sciences préhistoriques et protohistoriques* (8-13 Sept. 1976), CNRS (ed. P.V. Tobias e Y. Coppens), 1977.

A



B



C

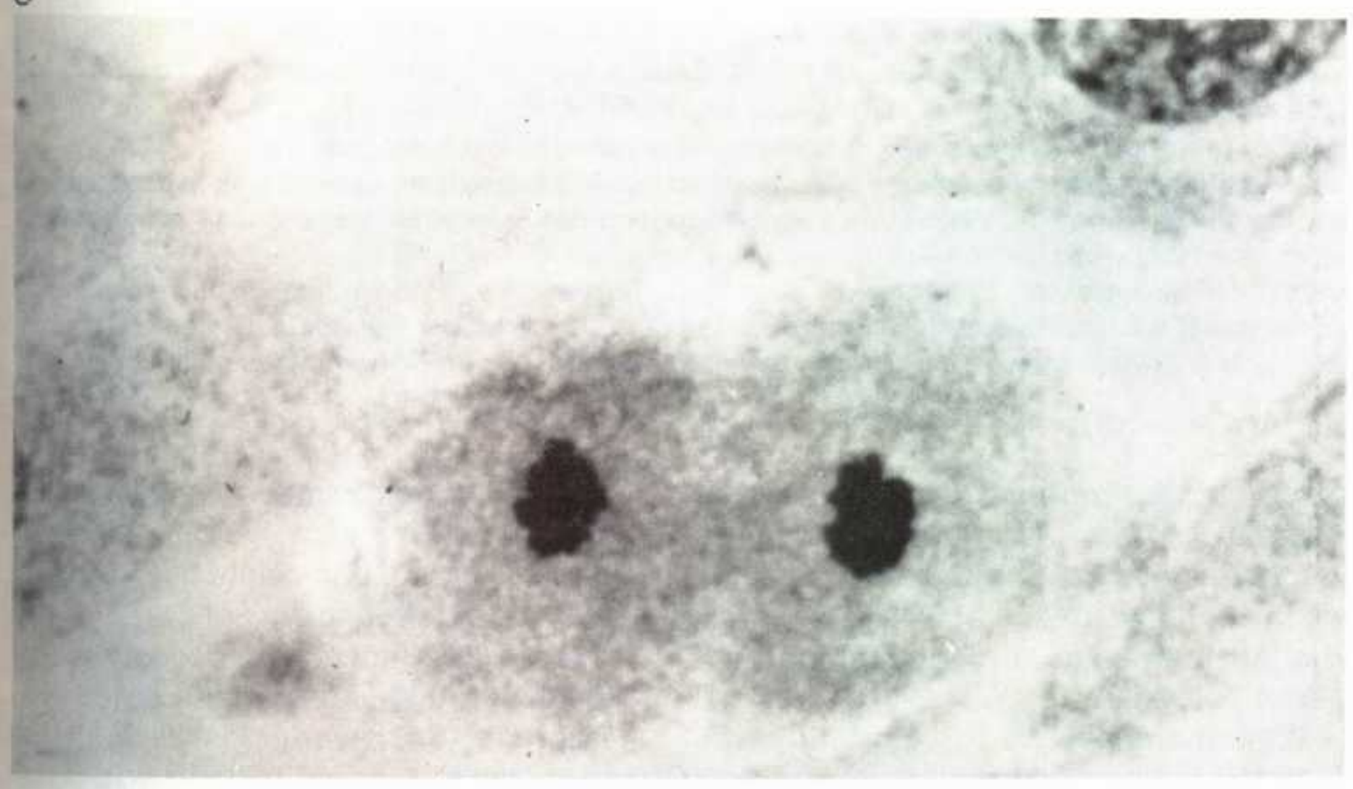


Figura 1. **Cada célula de un organismo contiene una dotación de material hereditario bajo la forma de cromosomas. Éstos sólo son visibles al microscopio óptico, justo cuando las células se están dividiendo. En las fotografías pueden observarse células humanas en cultivo, en diferentes momentos del ciclo celular. Antes de dividirse, el núcleo parece contener una masa compacta y amorfa de cromatina (sustancia química de los cromosomas). Justo antes de la división de la célula, la membrana nuclear desaparece y la cromatina de cada cromosoma se condensa** (A) **para dar forma a cromosomas individualizados que están constituidos por 2 filamentos (cromátides) unidos en un punto llamado centrómero. Las cromátides de cada cromosoma se separan y emigran a los polos de la célula** (B). **Dos núcleos se están reorganizando mientras el citoplasma está a punto de dividirse: se están formando dos células hijas.**

origen de los homínidos presupone que la separación homínidos-póngidos es posterior a la escisión cercopitecoides-póngidos (fig. 2B). De hecho, tal como ha constatado W.W. Howells, profesor de la Universidad de Harvard, con motivo del mismo coloquio[3] los resultados obtenidos estos últimos años por los inmunólogos o los bioquímicos comparando los grupos sanguíneos, las proteínas, los ácidos nucleicos del hombre, del chimpancé, del gorila y del orangután indican una gran proximidad de estas diferentes especies.[5] Estos datos sugieren que la separación homínidos-póngidos es muy reciente. Ciertos bioquímicos, como V.M. Sarich o A.C. Wilson de la Universidad de California, estiman que la fecha no iría más allá de los 5 millones de años.[6]

Las comparaciones de los cromosomas del hombre con cada uno de los cromosomas del chimpancé, del gorila o del orangután muestran grandes semejanzas. Confirmando, pues, los datos de la bioquímica, se llega a la idea de que estas especies se encuentran muy próximas. Pero, como existen también diferencias en la morfología de los cromosomas, es posible establecer un árbol genealógico de estas especies basado en las modificaciones progresivas de los cromosomas (o reorganizaciones) cuando se pasa de una especie a otra. Nosotros estamos trabajando en un árbol genealógico de estas características desde 1975, y hemos extendido estos resultados a la comparación de los cromosomas de alrededor de 80 especies diferentes de primates. Recientemente ya hemos podido proponer un árbol genealógico del orden de los primates, fundado en la modificación progresiva de la morfología de los cromosomas.[7] Este árbol genealógico permite aclarar ciertos puntos de la controversia comentada aquí mismo respecto al origen de la línea de los homínidos. Simultáneamente nuestros estudios sobre evolución de cromosomas en las especies de primates permiten intervenir en otra controversia: nos referimos al papel atribuido a las modificaciones progresivas de los cromosomas en la evolución de las especies. De momento, sobre la base de nuestros datos, parece exagerado basar la formación de nuevas especies únicamente en estas reorganizaciones, tal como habían sugerido en los años 70 ciertos genetistas franceses, como J. Lejeune[8] y J. Grouchy.[9] Ahora bien, para empezar veamos qué son los cromosomas y cómo pueden observarse.

La morfología de los cromosomas revelada por las «bandas»

Cada una de las millares de células que componen un ser pluricelular como

(5) S.L. Washburn, *Scient. Am., 239,* 156, 1978. F. Ayala y J. Valentine en *Evolving: the theory and processes of organic evolution,* Benjamin-Cummings Pub., p. 378, 1979; R. Hoffsteter, *Bull et Men. Soc. Anthrop. Paris, 4,* 327-346, 1977.
(6) A.C. Wilson, S.S. Carlson, T.J. White, *Ann. Rev. Biochem., 46,* 573, 639, 1977.
(7) B. Dutrillaux, *Hum. Genet., 48,* 251, 1979.
(8) J. Lejeune, *C.R. Séanc. Soc. Biol., 169,* 828, 1975.
(9) J. de Grouchy, *De la naissance des espèces aux aberrations de la vie,* R. Laffont, 1978; M.J.D. White, *Animal cytology and evolution,* Cambridge University Press, 1973.

En la actualidad es posible aislar segmentos cromosómicos que corresponden a no más de algunas decenas de genes.

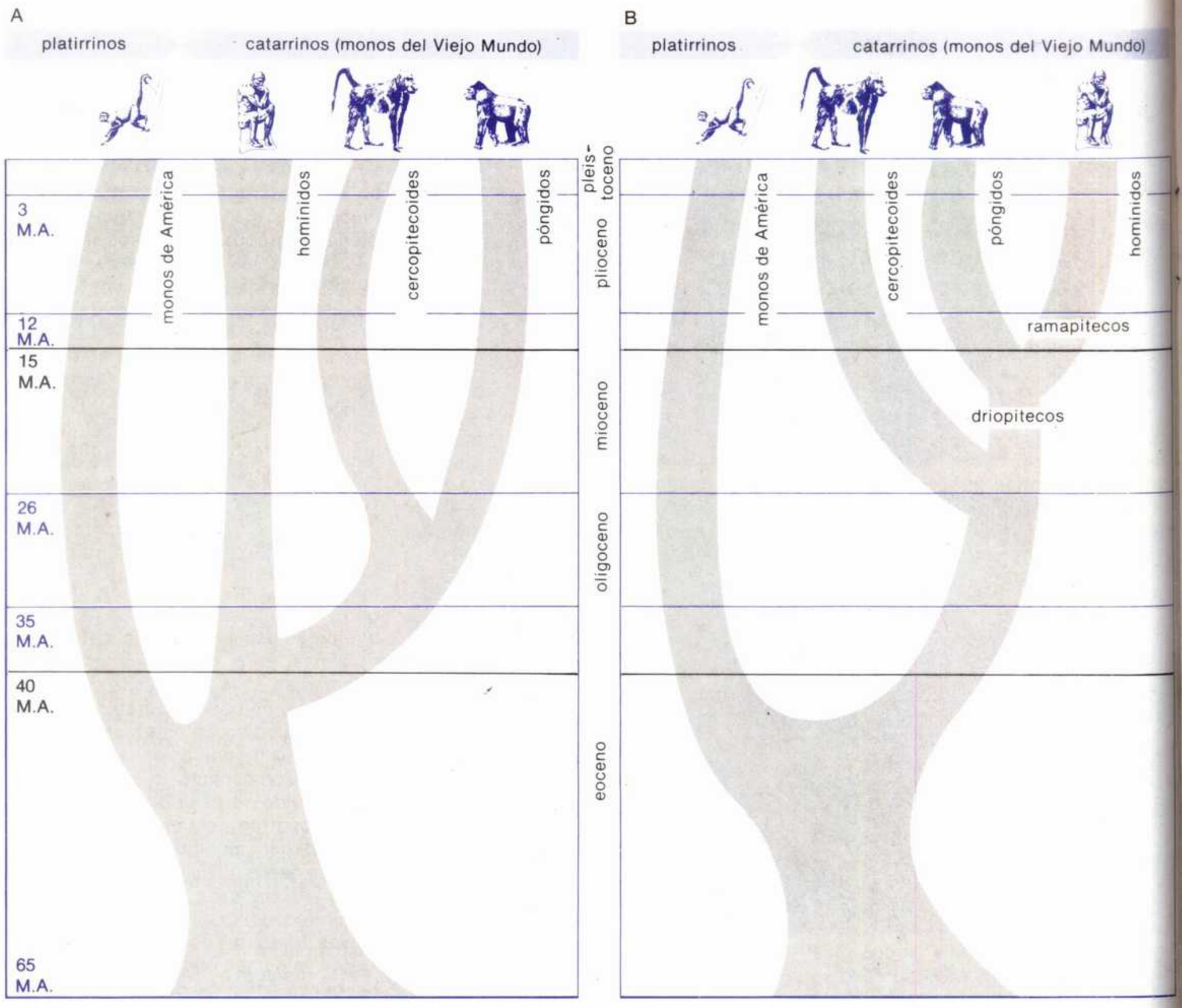


Figura 2. **Actualmente, en el campo de la paleontología reina una viva controversia respecto al origen simiesco del hombre.**
(A) **Según una teoría[2], la separación de la línea de los hominidos y la de los póngidos (chimpancé, gorila, orangután) se llevó a cabo hace unos 40 millones de años (o más) antes incluso de la separación de los monos del Viejo Mundo en cercopitecoides (papiones, macacos...) y póngidos. Los antepasados del hombre no se habían parecido nunca al chimpancé.**
(B) **Según otra teoría[4] esta separación habría sido mucho más reciente: 15 millones de años. Se habría llevado a cabo al final de una evolución de antepasados póngidos, los driopitecos. Habría habido, pues, un estadio ancestral común con el chimpancé en la genealogía del hombre, y el primer hominido sería un póngido con algunos caracteres hominidos. Ciertos bioquímicos piensan que la separación hominidos-póngidos ha sido mucho más reciente (5 millones de años).**

el hombre contiene en su núcleo un material hereditario bajo la forma de cromosomas (fig. 1), que en la mayoría de los casos está formado por *n* pares de cromosomas homólogos (es decir idénticos). La especie humana posee 23 pares (fig. 3) en lugar de los 24 del chimpancé, gorila y orangután. Esta cifra de 23 pares se conoce desde 1956, gracias a la observación hecha en Suecia por J.H. Tjio y A. Levan.[10] En cada célula el material hereditario determina el estado morfológico, bioquímico... de la misma, en función del órgano al cual pertenezca y de acuerdo con los caracteres de la especie. Y es así porque, como ya hemos dicho, los cromosomas son los portadores de los genes, que, en el seno de la célula, determinan la síntesis ya de proteínas como las que constituyen el citoesqueleto (responsable de la forma de la célula) ya de las que poseen actividad enzimática (que regulan el metabolismo celular), etc.

La transmisión de los caracteres de la especie se asegura con la presencia de material hereditario en las células sexuales. Para ello, este material sufre unos procesos especiales: sus *2n* pares de cromosomas se disocian, y las células sexuales (espermatozoides en el macho, óvulos en la hembra) se hallan dotadas en lo sucesivo de sólo *n* cromosomas. Esta reducción de la mitad del complemento cromosómico permite la reconstrucción de un material hereditario con 2n cromosomas, después que un espermatozoide y un óvulo se fusionen para dar lugar a una célula huevo, punto de partida de un nuevo ser.

Hasta 1970, con el microscopio se observaban muy pocos detalles de los cromosomas. Su descripción se fundaba esencialmente en el tamaño y la posición de una construcción llamada *centrómero* (fig. 3): si estaba situado en el centro, el cromosoma se llamaba metacéntrico (o mediocéntrico); de estarlo en un extremo, acrocéntrico (nomenclatura todavía en vigor). El trabajo del citogenetista consiste en obtener células donde puedan observarse cromosomas. Éstos sólo son visibles en el momento en que la célula se divide (mitosis) (fig. 1).

(10) J.H. Tjio y A. Levan, *Hereditas* (Lund.), *42*, 1, 1956.

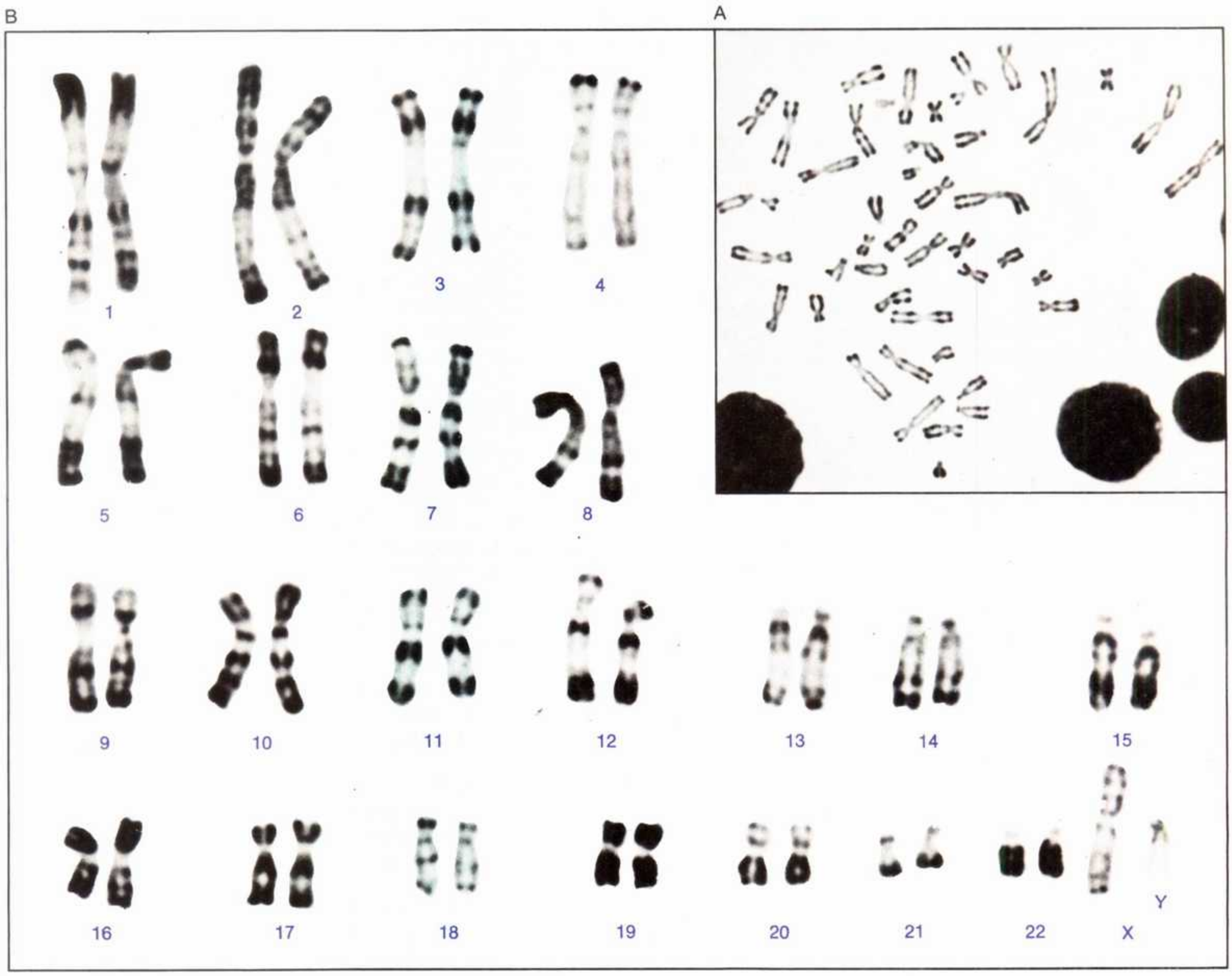


Figura 3. **El trabajo del citogenetista consiste en establecer el cariotipo de las células examinadas. Para ello, prepara cultivos celulares que le permitan encontrar gran número de células en procesos de división, momento en el que los cromosomas pueden distinguirse claramente.**
(A) **Ciertos tratamientos (como un baño en un líquido fisiológico diluido y la extensión en portaobjetos) aplicados a las células permiten la separación nítida de los cromosomas, tal como puede observarse en la fotografía. En este momento, los cromosomas están formados por 2 cromátides, unidas por un punto: el centrómero. Gracias a los tratamientos efectuados pueden diferenciarse entre sí los cromosomas (cosa que no ocurría en la fig. 1).**
(B) **El establecimiento de un cariotipo consiste en clasificar los cromosomas por parejas y en orden de tamaño decreciente. El cariotipo humano de sexo masculino presenta 22 pares de cromosomas homólogos más otro par (nº 23) compuesto por un cromosoma X y un cromosoma Y de morfología muy diferente (en las mujeres, se observan 2 cromosomas X idénticos). Los cromosomas se han teñido para obtener bandas «R». Las diferentes bandas son características de cada cromosoma y permiten reconocerlos con precisión, así como observar sus posibles reorganizaciones.**

Fuera de este período, la cromatina (asociación del ADN y proteínas), que es el constituyente químico del cromosoma, se presenta bajo la forma de un filamento extremadamente desplegado en el interior del núcleo. Los diferentes filamentos cromatínicos constituyentes de distintos cromosomas se hallan íntimamente mezclados y no pueden distinguirse las unidades individualizadas. Por el contrario, en el momento de la división celular, la cromatina constitutiva de cada cromosoma se «recoge», se condensa y cada cromosoma toma una forma, diferenciándose de sus vecinos. Diversas metodologías permiten aumentar en un cultivo de células (glóbulos blancos o células epiteliales) la presencia de estadios de la división celular que favorezcan la observación de los cromosomas. Otros procedimientos (tales como el sumergir las células en un líquido fisiológico diluido) hacen turgentes las células, con la consiguiente dispersión de los cromosomas, momento en el que son observados al microscopio y fotografiados. El citogenetista puede entonces clasificar las imágenes fotográficas por orden de tamaños decrecientes estableciendo así el *cariotipo* de la especie estudiada.

En 1970, una primera técnica de tinción de cromosomas con una sustancia llamada mostaza de quinacrina permitió describir «bandas» coloreadas, llamadas bandas Q, características de cada cromosoma (fig. 3) (este método se debe al equipo del sueco T. Caspersson). Poco después surgieron otros métodos de tinción (muchos de ellos fueron puestos a punto en el Institut de Progenèse)[11] y las nuevas bandas coloreadas R, G, T, C, etc. permitieron caracterizar la morfología de los cromosomas. Al mejorar los diversos métodos de tinción se ha podido pasar de observaciones que, en 1970 señalaban alrededor de 300 bandas, en el total de los cromosomas humanos, al millar conocido en la actualidad.

Las bandas, de hecho, revelan en los cromosomas zonas de cromatina que se tiñen más o menos fuertemente. Los cromosomas pueden accidentalmente

(11) B. Dutrillaux, *Sur la nature et l'origine des chromosomes humains*, Expansion scientifique, 1975.

Ciertas modificaciones cromosómicas sólo son descubiertas por sus portadores cuando éstos tienen un niño anormal.

—después de radiaciones, mutágenos químicos, etc.— romperse, perder fragmentos, cambiar segmentos con otros cromosomas..., modificaciones que se ha dado en llamar reorganizaciones, las cuales pueden ser observadas hoy con precisión gracias a las técnicas de bandas, dado que éstas son características de cada porción de cromatina. Cada segmento será, pues, reconocido por el citogenetista, incluso si no está en el lugar que le corresponde en un determinado cromosoma y se encuentra en otro. Naturalmente, las «bandas» coloreadas visibles al microscopio óptico tienen dimensiones muy superiores a los genes localizados en los cromosomas. Sin embargo, sintetizando las diferentes técnicas actuales, se ha considerado que delimitan zonas correspondientes a algunas decenas de genes. Las distancias entre la citogenética y la biología molecular que hasta hace muy poco parecían insuperables se han reducido considerablemente; de hecho continúan reduciéndose, y algunos investigadores, como J.J. Jones de Edimburgo, han podido establecer recientemente la composición molecular exacta de ciertos segmentos de cromosomas humanos.(12) Por otra parte, numerosos equipos internacionales trabajan desde hace muchos años en la localización de genes en ciertas bandas cromosómicas.(12)

Modificaciones cromosómicas: no siempre son perjudiciales

Los individuos que pertenecen a la misma especie presentan, en general, el mismo número de cromosomas. Este número es característico de la especie: 23 pares en el hombre; 24 pares en el chimpancé, gorila y orangután; de 23 a 36 pares en los monos cercopitecoides (macacos, papios, etc.). La morfología (identificada por bandas) de cada cromosoma es, en principio, idéntica para todos los individuos de una especie. Sin embargo, en un pequeño número de individuos de entre los pertenecientes a una misma especie, aparecen modificaciones del número de cromosomas o de su morfología. Estas modificaciones son de 3 tipos.

En algunos casos, en ciertos individuos se encuentra una modificación cuantitativa: hay un cromosoma o segmento de cromosoma extra o, al contrario, falta. Los individuos portadores de tales modificaciones generalmente son niños con enfermedades hereditarias (*La Recherche,* n° 119, p. 1158, oct. 1980) (síndrome de Down, etc.) En efecto, la adición o desaparición de cromosomas, así como de alguna de sus partes, significa la adición o desaparición de genes; con las consiguientes perturbaciones metabólicas de las células portadoras, trastornos graves de desarrollo en el embrión o en el niño...

Los desequilibrios cuantitativos en la dotación cromosómica son en realidad más frecuentes de lo que se supone en niños anormales, calculándose que 50 % de células huevo los presentan. En la gran mayoría de casos, el desarrollo se interrumpe rápidamente, razón de numerosos abortos. De estos huevos con complemento cromosómico anormal sólo 5 ‰ conducirán al nacimiento de un niño (que desde luego será anormal).

El segundo tipo de variación cromosómica, relacionándola con el tipo «normal» es también de orden cuantitativo. Nos referimos a la heterocromatina. Estamos hablando de numerosas zonas cromosómicas, generalmente reducidas en cuanto a tamaño que reaccionan a los colorantes de manera diferente que el resto de la cromatina (pueden teñirse fuertemente de forma uniforme o, al contrario, débilmente). Los segmentos de heterocromatina no parecen transportar genes y su función está mal definida. En todo caso, de un individuo a otro, pueden observarse variaciones importantes en cuanto a cantidad, sin que ello parezca provocar un problema notable. Por ejemplo, el segmento de heterocromatina más grande en el cariotipo humano es el que constituye el brazo largo del cromosoma Y (cromosoma propio del sexo masculino): puede variar de simple a triple de un individuo a otro (fig. 4). La longitud del brazo largo del cromosoma Y parece caracterizar, en cierta medida, a poblaciones o a subpoblaciones. Así, el cromosoma Y de las poblaciones árabes de África del Norte es en promedio mucho más grande que el de las poblaciones europeas o del África Negra; los Amish, secta estadounidense descendiente de un grupo de 200 suizos emigrados a los Estados Unidos en el siglo XVIII, con notabe consanguinidad, tienen un cromosoma Y muy pequeño.

El tercer tipo de modificación de los cromosomas que puede observarse en los individuos no es de orden cuantitativo. No se trata de la adición o de la pérdida de segmentos cromosómicos. Dicho de otra forma, en el patrimonio hereditario hay la misma cantidad de cromatina; simplemente se halla distribuida de forma diferente entre los cromo-

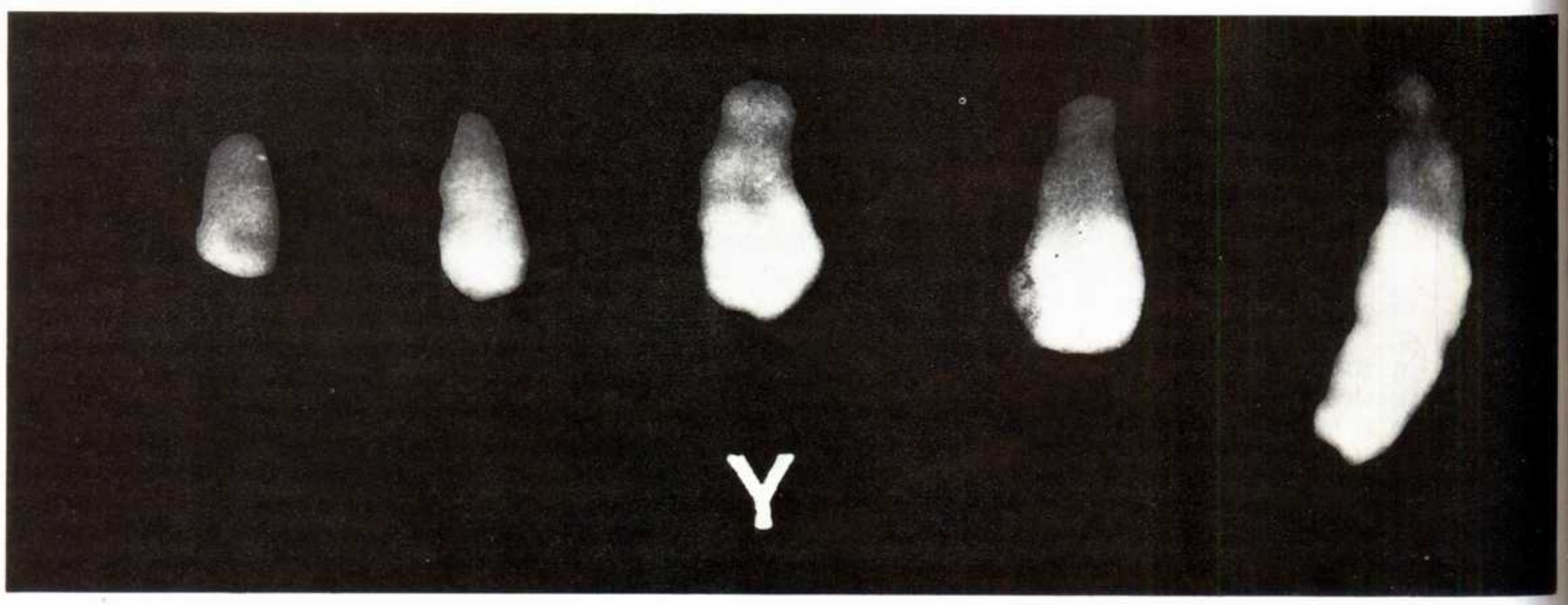


Figura 4. **Una modificación cromosómica frecuente al establecer una comparación con el tipo normal, pero sin consecuencias patológicas, es la variación en la cantidad de heterocromatina. Este material cromosómico variable lo observamos en particular en los brazos largos del cromosoma Y (cromosoma característico del sexo masculino). Podemos ver cromosomas Y que provienen de individuos diferentes: la heterocromatina es la porción brillante de la zona terminal del brazo largo. Observemos que su tamaño puede variar bastante de un individuo a otro. Los grandes cromosomas Y (a la derecha) son frecuentes en las poblaciones de África del Norte. Los cromosomas Y pequeños (a la izquierda) son frecuentes en las poblaciones europeas o en el África Negra.**

(12) *Human gene mapping,* Edinburgh conference, 1979; *Cytogenetics and cell genetics, 25,* 1979.

somas. Por ejemplo, 2 cromosomas acrocéntricos que normalmente se encuentran en pares diferentes en un individuo determinado se presentan en forma fusionada en un solo cromosoma (esta modificación se llama translocación robertsoniana) (fig. 5A); o un cromosoma de un par dado de un cariotipo normal puede en ciertos individuos presentarse roto en dos fragmentos (se trata de una fisión cromosómica) (fig. 5C). En algunos individuos se observan también otros tipos de modificaciones morfológicas de tipo cualitativo, como el intercambio de segmentos entre cromosomas (fig. 5D). Una porción terminal de un cromosoma n° 3 puede presentarse, por ejemplo, en lo que sería la zona normalmente terminal de un cromosoma n° 11. En cambio, la porción terminal del cromosoma n° 11 se presentaría soldada al cromosoma n° 3. A esta modificación se le llama translocación recíproca.

Finalmente, se ha observado también en ciertos individuos una última modificación cromosómica que no provoca ningún tipo de variación en la cantidad de cromatina: se trata de inversiones de segmentos en el seno de cromosomas; de tal forma, que el punto final de un segmento en su posición inicial se convierte en el punto de origen en la posición invertida (y viceversa para el otro extremo del segmento) (fig. 5B). Naturalmente, las técnicas de obtención de bandas son especialmente aptas para detectar estas modificaciones.

Estas diferentes reorganizaciones o restructuraciones cromosómicas con respecto al cariotipo normal se producen accidentalmente bajo el efecto de radiaciones, de compuestos químicos (llamados mutágenos) y probablemente de virus. Se trata de acontecimientos poco frecuentes: en la especie humana, las translocaciones recíprocas o las fusiones de cromosomas se observan aproximadamente en una persona cada mil. La frecuencia de inversiones es aun más baja. Estas reorganizaciones no varían en absoluto la cantidad de material genético y no producen normalmente ningún perjuicio a los individuos que los presentan. Son personas inconscientes del hecho en sí, y su anomalía se pone de manifiesto después del nacimiento de un niño anormal o de abortos espontáneos. Los distintos tipos de reorganizaciones cualitativas que acabamos de enumerar provocan la formación de células sexuales anormales, que no poseerán la cantidad de material cromosómico que les correspondería normalmente. Las células huevo productos de la fecundación de una célula sexual anormal presentan cariotipo anormal, es decir, un cromosoma de más o de menos: nos encontramos entonces ante

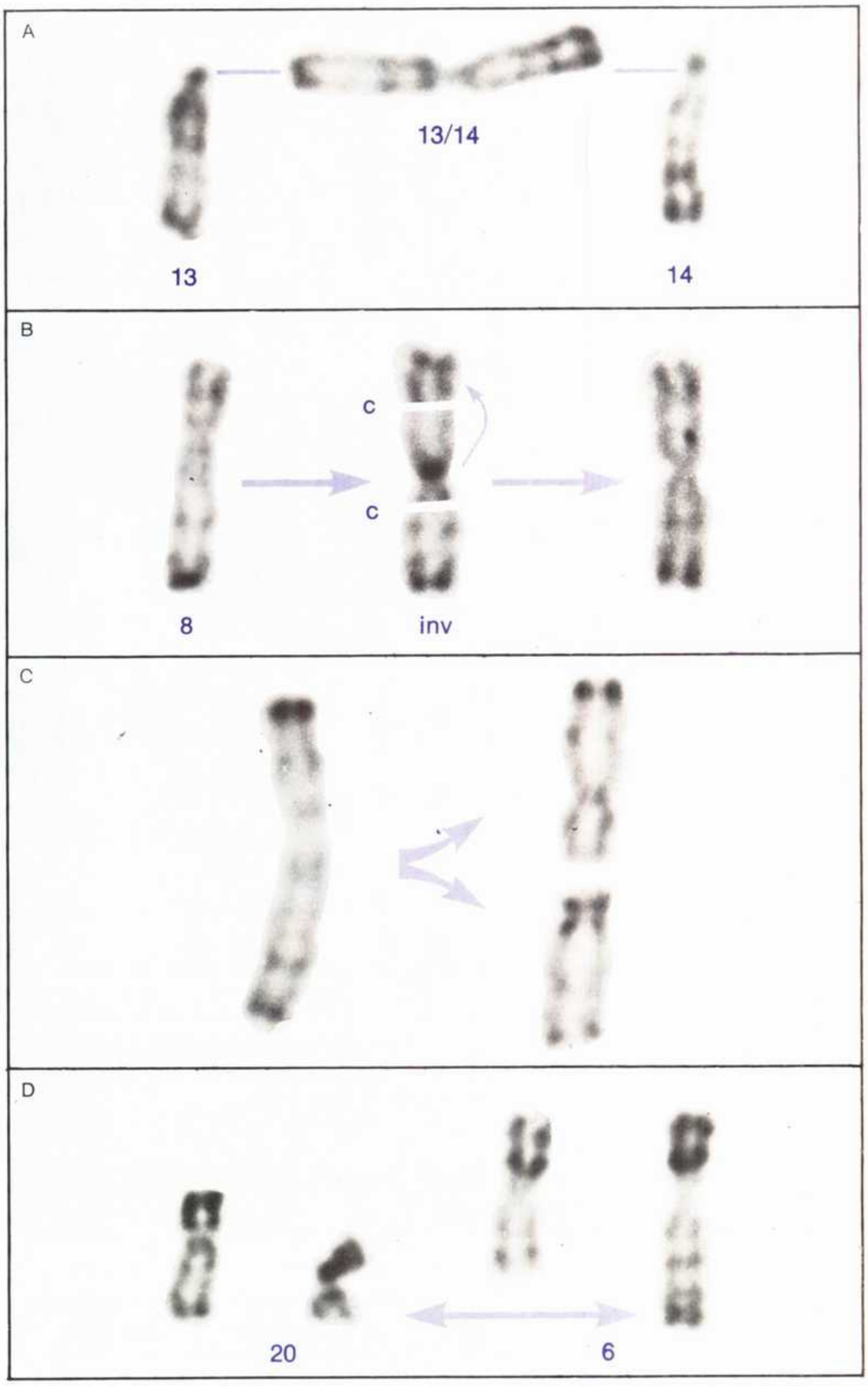


Figura 5. **Las variaciones en la estructura de los cromosomas pueden producirse accidentalmente, sin que la cantidad de material hereditario haya cambiado. Los portadores de estas reorganizaciones serán, pues, normales, pero a menudo revelan fertilidad disminuida (debido a las anomalías que se presentan en la formación de sus células sexuales).**
(A) **La fusión de cromosomas (o translocación robertsoniana) consiste en la fusión de 2 cromosomas que pertenecen a parejas distintas. Se puede observar la fusión de un cromosoma 13 y un cromosoma 14 en el cariotipo humano. El otro 13 y el otro 14 permanecen libres.**
(B) **La inversión de un segmento en un cromosoma se produce tras una rotura en 2 puntos, seguida de un giro de 180° del segmento roto; posteriormente se reparan las roturas con el segmento girado. El cromosoma tomado como ejemplo es el n.º 8 humano.**
(C) **La fisión consiste simplemente en que un cromosoma se rompa y dé lugar a dos cromosomas independientes.**
(D) **La translocación recíproca es un intercambio de segmentos entre 2 cromosomas que pertenecen a pares diferentes. Aquí, los 2 cromosomas del par n.º 20 y los dos cromosomas del par n.º 6 en el hombre. Uno de los cromosomas n.º 6 es más corto que su homólogo: ha perdido un segmento, que se ha unido a uno de los cromosomas n.º 20 (aquél que es más largo que su homólogo). La doble flecha indica los cromosomas normales.**

La separación del hombre del chimpancé y del gorila se ha hecho después de una larga evolución en común.

Figura 6. **Esta figura compara los cromosomas del hombre y los del chimpancé. Hemos colocado solamente un cromosoma de cada par de las 2 especies; y los cromosomas se hallan numerados como en el cariotipo humano. El cromosoma de la izquierda siempre es el del hombre; el de la derecha corresponde al del chimpancé.**
El análisis detallado de las bandas muestra que los cromosomas del hombre y del chimpancé sólo se diferencian por las reorganizaciones siguientes:
— una fusión de 2 cromosomas del chimpancé da lugar al cromosoma n.º 2 humano;
— nueve inversiones pericéntricas (flechas curvadas) en los cromosomas 4, 5, 9, 12, 15, 17 y 18 (los cromosomas 4 y 9 sólo se diferencian por 2 inversiones a la vez);
— dos adiciones de material cromosómico (triángulo) una en el cromosoma n.º 1 del hombre, la otra en el n.º 13 del chimpancé.

el primer tipo de modificación cromosómica cuantitativa anteriormente comentada, como origen de enfermedades hereditarias o de abortos espontáneos.

La genealogía de los primates

Si se comparan, par con par, los cromosomas de la especie humana con los del chimpancé o de otros primates, se observa que en muchos casos son idénticos; en otros únicamente se diferencian por una modificación de tipo cualitativo (fusión, fisión, translocación recíproca, inversión). En 1972, J. de Grouchy y C. Turleau,* al comparar los cromosomas del hombre y del chimpancé observaron los siguientes hechos: 13 de los cromosomas humanos (de los 23 presentes en un semicariotipo, en el que sólo se considera un miembro de cada par) son exactamente idénticos a 13 de los cromosomas del chimpancé. Los otros son similares teniendo en cuenta la presencia de alguna reorganización. Así, el cromosoma humano n° 2 está formado por la fusión de 2 cromosomas equivalentes (por la distribución de bandas) del chimpancé. Ello explicaría que el hombre sólo tenga 23 pares de cromosomas frente a los 24 del chimpancé. Los otros cromosomas se distinguen por un total de 9 inversiones y dos adiciones de material cromatínico (fig. 6). Queda mostrada, pues, la proximidad de las especies. Últimamente hemos podido comparar los cromosomas de 80 especies de primates, hecho que nos ha permitido reconocer para cada cromosoma una evolución distinta al pasar de una especie a otra, evolución representada por modificaciones de morfología por fusión, inversión o translocación recíproca. Por otra parte, cuando se consideran muchas especies es posible deducir el orden con que probablemente se han producido estas modificaciones. Por ejemplo, el cromosoma n° 7 del hombre se presenta en forma de dos cromosomas acrocéntricos separados, en los prosimios (primates muy primitivos entre los que se encuentran los lemures de Madagascar) y en los platirrinos (monos de América) (fig. 7). Sólo los catarrinos (monos de África y de Asia) poseen un cromosoma individualizado que se corresponde al n° 7 humano: ca-

* Véase también el trabajo coetáneo de J. Egozcue, M.R. Caballín, C. Goday. «Q and G Banding Patterns of the Chromosomes of some Primates». *J. Human. Evol. 2*: 289-295 (1973). *(N. del T.)*

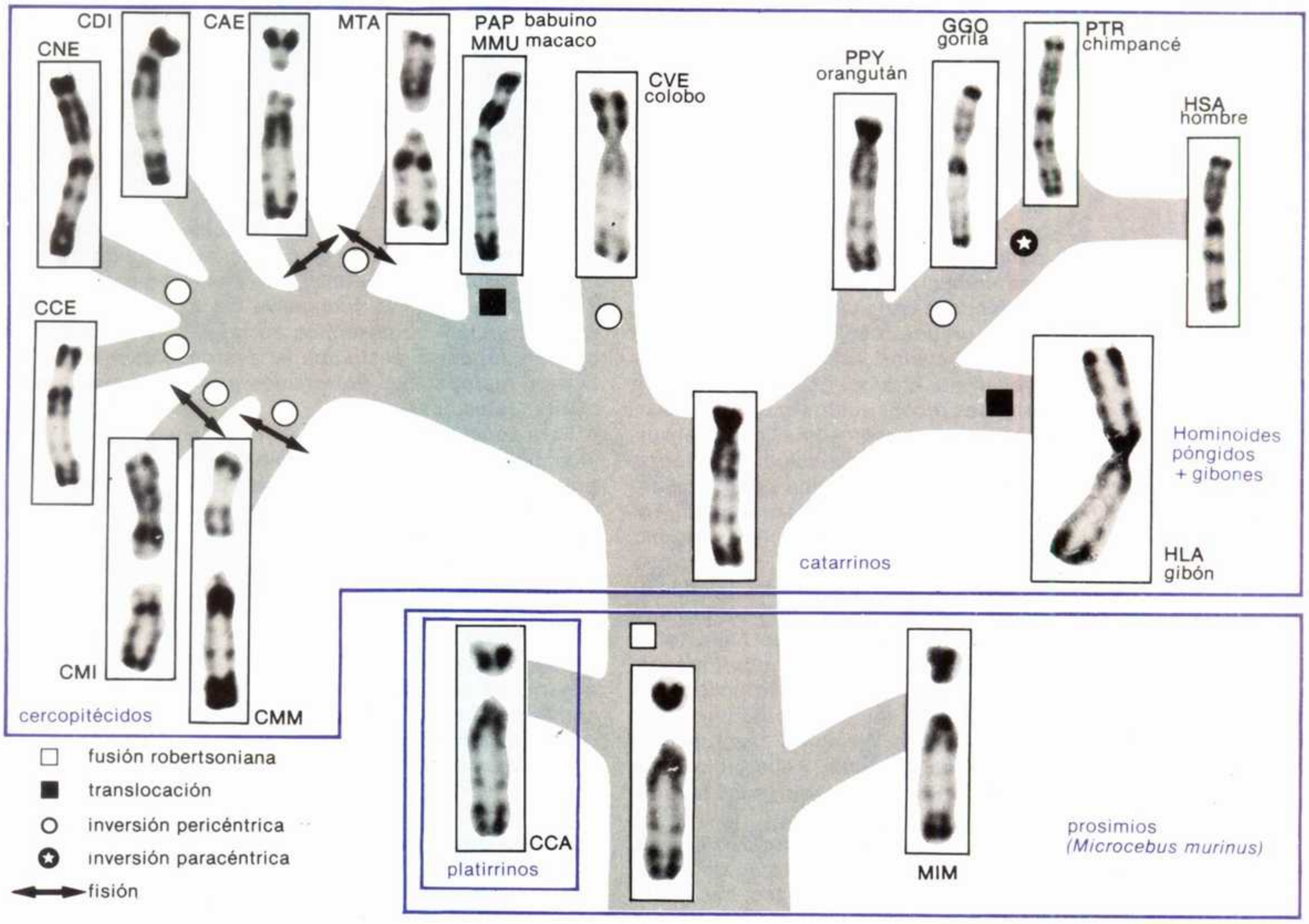


Figura 7. **Comparando los cromosomas equivalentes de diferentes especies pueden construirse las líneas evolutivas para cada cromosoma. Por ejemplo, el cromosoma equivalente al n.º 7 humano se encuentra en los prosimios, representado por 2 cromosomas acrocéntricos independientes (centrómero situado cerca del extremo). Los platirrinos (monos de América) poseen también estos 2 cromosomas independientes. En cambio, en la mayoría de catarrinos (monos del Viejo Mundo), los 2 cromosomas se hallan fusionados en uno solo.**
Se llega a la conclusión de que la fusión ha aparecido en el momento en que los platirrinos ya se han separado y en el que las grandes familias de catarrinos se han individualizado. En la rama de los cercopitecoides, este cromosoma ha sufrido numerosas reestructuraciones; fusión con un cromosoma equivalente al 21 humano en la línea de los macacos y babuinos (PAP Y MMU), inversión pericéntrica en la línea que nos lleva hacia el colobo *C. vellerosus* (CVE); Inversiones para los cercopitécidos *C. cephus* (CCE) y *C. neglectus* (CNE); fisión en los cercopitécidos *C. mitis* (CMI), *C. mona* (CMM) y *Miopithecus talapoin* (MTA); una simple fisión en *Cercopithecus aethiops* (CAE) que reconstruye los 2 acrocéntricos originales. Se trata de una mutación llamada «inversa». En la rama que nos lleva hacia los póngidos y hacia el hombre el cromosoma equivalente al n.º 7 humano no se modifica hasta llegar al gorila (GGO), donde sufre una inversión pericéntrica. A partir de este nuevo cromosoma, una inversión pericéntrica nos lleva al cromosoma n.º 7 del chimpancé (PTR) y del hombre (HSA). Acumulando los datos obtenidos para cada reestructuración de cada cromosoma es posible situar las especies, familias, géneros...

be, por tanto, que se haya llevado a cabo una fusión de los dos cromosomas presentes en prosimios y platirrinos. En los póngidos, el cromosoma n° 7 sufre una inversión pericéntrica (es decir, una inversión que implica a una porción de cromatina que incluye al centrómero) cuando se pasa del orangután al gorila. Inmediatamente sufre una inversión paracéntrica (es decir una inversión que implica a una porción del cromosoma que, en este caso, no incluye el centrómero) en el chimpancé y en el hombre. En los cercopitecoides (papios, macacos...) el cromosoma equivalente al n° 7 humano ha sufrido además diversas reorganizaciones (fisiones, inversiones, translocaciones).

Sería tedioso enumerar todas las reorganizaciones que afectan a todos los cromosomas en todas las especies de primates que hemos estudiado (que representan casi la mitad de las especies de primates que existen en la actualidad).[7] Pero se comprenderá fácilmente que los datos que establecen el orden posible en el que ha evolucionado cada uno de los cromosomas permiten, al mismo tiempo, establecer el probable orden de aparición de los diversos grupos de primates. El ejemplo de la evolución del cromosoma n° 7 humano nos ha mostrado que, en la genealogía de las especies de primates, la divergencia platirrinos-catarrinos se sitúa necesariamente antes de la escisión de los catarrinos en cercopitecoides y póngidos. Poco a poco, recopilando los datos de todos los cromosomas, se llega a establecer la genealogía de todas las especies de primates (fig. 8).

El antepasado simio del hombre

El árbol genealógico obtenido muestra que los simiiformes (monos del Viejo y Nuevo Mundo más homínidos) se han separado de los prosimios (lemúridos, etc.) mediante un cierto número de acontecimientos cromosómicos. Después se separa la rama de los platirrinos (monos de América) a lo que sigue la bifurcación de los cercopitecoides (papios, macacos...) y de los hominoideos (póngidos y homínidos). En la rama de los hominoideos, muy al comienzo, se desmarca una línea que es la del

Las reorganizaciones cromosómicas participan en los procesos de evolución de las especies, pero no de forma exclusiva.

orangután; después se produce en la misma una trifurcación terminal que conduce separadamente al hombre, al chimpancé y al gorila. Esta genealogía de los primates sitúa, pues, el surgimiento de la línea de los homínidos posterior a la escisión cercopitecoides-póngidos. Dicho de otra forma, según la evolución de los cromosomas, los antepasados del hombre provienen de una línea común a la línea de los póngidos, habiéndose dado un estado parecido al de los grandes simios entre los antepasados humanos. También hemos de subrayar que el árbol genealógico de los primates reconstruido a partir de la evolución de los cromosomas indica el surgimiento de la línea humana de forma simultánea a la del gorila y del chimpancé, pero posterior a la del orangután. Todo ello ilustra a la perfección, tal como han señalado numerosos autores, que el grupo de los póngidos, incluyendo al orangután, al chimpancé y al gorila, y excluyendo al hombre, se halla totalmente desprovisto de sentido filogenético. Hace falta, tal como proponen ciertos autores (el estadounidense M. Goodman por ejemplo), reagrupar al chimpancé y al gorila, y ellos solos, con los homínidos, en un solo grupo taxonómico.[13]

Evidentemente, esta proposición puede herir nuestro amor propio de *Homo sapiens*. Pero, en todo caso, hace falta rendirse a la evidencia: a la vista de los resultados de los estudios cromosómicos, que van en el mismo sentido que los resultados bioquímicos, la posición de los paleontólogos que admiten que la línea humana se ha separado muy pronto, antes de que los póngidos se individualizaran como tales, no puede sostenerse. La divergencia del hombre del chimpancé y del gorila es reciente, situándose al término de una larga evolución ¡de tipo póngido!

La forma en que se ha llevado a cabo esta separación requiere algunos comentarios: los antepasados del hombre y del chimpancé, pero no del gorila, han adquirido conjuntamente 2 reorganizaciones cromosómicas, mientras que otras 3 reestructuraciones han sido adquiridas en común por los antepasados del chimpancé y gorila (pero no del hombre).[14] Ello me ha obligado a imaginar que los antepasados del gorila y del hombre formaban una sola y única población, donde los individuos portadores de reorganizaciones cromosómicas podían interfecundarse[7, 14] (alternativamente, también cabe imaginar que los respectivos antepasados del gorila, del chimpancé y del hombre formaban pequeñas poblaciones de hábitat muy próximo que podían formar con relativa facilidad híbridos). Tanto una como otra hipótesis tienen una particularidad en común, y es la de alejarse de un postulado admitido por los citogenetistas durante mucho tiempo, en virtud del cual toda reorganización cromosómica crea una barrera reproductiva entre los individuos portadores de la misma y los que no la presentan, debido a que los descendientes del cruce de estos 2 tipos de individuos presentan fertilidad reducida. Si el hecho en sí no es discutible, hemos de insistir en que no implica siempre una desaparición progresiva de la reorganización cromosómica en la población, tal como postulaba la idea de barrera reproductiva. Volveremos a comentar estas cuestiones.

Para concluir el problema de la posición del hombre en la genealogía de los primates, se ha de señalar que esta proximidad de nuestros antepasados simios no nos debe hacer tomar como modelo del estado ancestral del hombre al chimpancé y al gorila, tal como han hecho ciertos autores (por ejemplo Desmond Morris en *El mono desnudo*). Estas especies también han evolucionado a partir de sus antepasados comunes con el hombre. En lo que concierne a las reorganizaciones cromosómicas, también se han alejado de su estado ancestral.

Aislamiento sexual progresivo

Las reorganizaciones cromosómicas puestas en evidencia en la sucesión de las especies de primates nos invitan a formular la siguiente pregunta: ¿son estos acontecimientos los verdaderos mecanismos a partir de los cuales las especies pueden evolucionar? En una primera aproximación, es de hecho posible decir «tal cariotipo, tal especie». Se deduce, pues, que una modificación del cariotipo significa una modificación de la especie (es decir evolución). A principios de los años 70, además del caso de los grandes monos y el hombre, se han constatado otros ejemplos de evolución, que aparentemente consisten en simples reorganizaciones cromosómicas, en especies tan diferentes como los saltamontes australianos del género *Moraba,* ratas de Israel del género *Spalax,* perros de pradera estadounidenses del género *Thomomys,* plantas como las del género californiano *Clarkia*... Ello a conducido a citogenetistas como M.J.D. White, [15] o J. Lejeune[8] o J. de Grouchy[9] a proponer que las reorganizaciones cromosómicas podrían estar en el origen de la formación de nuevas especies (*La Recherche,* n° 44, p. 325, abril 1974). Desde luego, las reorganizaciones cromosómicas, cuando no provocan cambios en la cantidad de material hereditario, tal como ya hemos comentado, no afectan a la viabilidad de los individuos que las presentan. No obstante, inducen una disminución en el número de descendientes: por ejemplo, en la especie humana, en el caso de un progenitor con una fusión del cromosoma n.º 21 con el n.º 14 se presenta el riesgo de que algunos de sus descendientes sean anormales (síndrome de Down) y no se reproduzcan. Una reproducción eficiente sólo parece ser posible entre individuos que simultáneamente sean portadores de las mismas reorganizaciones cromosómicas en los 2 cromosomas de un mismo par (individuos llamados homocigotos para una reestructuración determinada). Si tales individuos aparecen en una población de una especie dada, sus únicos descendientes viables y normalmente fértiles serán los que habrán tenido en común: los descendientes producto de su unión con individuos sin dicho tipo de reestructuraciones pertenecen a la categoría de híbridos con fertilidad disminuida. La población de descendientes homocigotos para la reestructuración constituirá por ella misma una especie nueva. Podemos, pues, generalizar en el sentido de que: las reorganizaciones cromosómicas ocasionan una «barrera sexual» en el seno de las poblaciones, permitiendo la aparición de nuevas especies.

Esta teoría citogenética del origen de las especies contradice un poco el modelo defendido por los neodarwinistas, por ejemplo, por la escuela de Theodosius Dobzhansky, donde no son los cambios cromosómicos sino los cambios de genes los responsables de la modificación de las especies. Los partidarios de esta escuela han señalado reiteradamente el gran defecto de la citogenética. Si toda especie naciera por modificación del cariotipo de una especie preexistente, se implicaría una relación estrictamente biunívoca: nueva especie-nuevo cariotipo. Sin embargo, existen especies de primates, por ejemplo, muchas especies de macacos, que poseen un cariotipo idéntico, no sólo entre ellos sino también con otras especies muy diferentes como los papios. Ejemplos de este estilo pueden encontrarse también en otros grupos zoológicos bien alejados. Teniendo en cuenta estos datos nos parece exagerado, por tanto, el hacer depender la formación de nuevas especies estrictamente de las reorganizaciones cromosómicas.

Pero, tampoco podemos excluirlas de los mecanismos evolutivos, debido a que es totalmente cierto que contribuyen eficazmente a crear una «barrera reproductiva» al provocar un aislamiento sexual que es necesario para la formación de nuevas especies.

De ahí, que nos parezca probable que las reorganizaciones cromosómicas hayan intervenido en la formación de nue-

(13) R. Hoffstetter, *Bull. Mém. Soc. Anthrop. Paris, 6,* 305, 1979.
(14) B. Dutrillaux, *J. Reprod. Fert. Suppl., 28,* 105, 1980.
(15) M.J.D. White, *Animal cytology and evolution,* Cambridge University Press, 1973; M.J.D. White, *Modes of speciation,* Freeman, 1978.

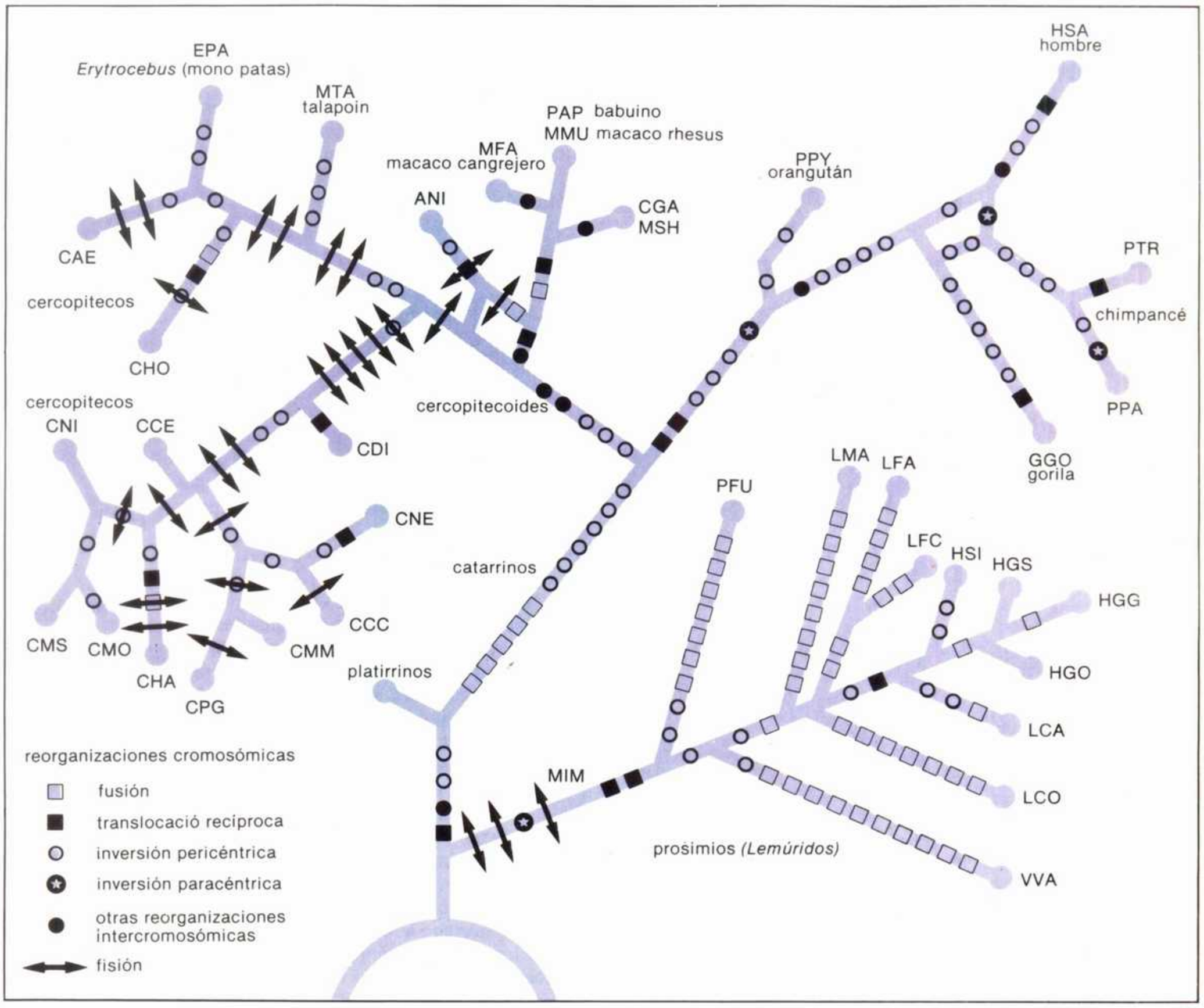


Figura 8. **Este diagrama representa la genealogía de los primates tal como se deduce del estudio de los cromosomas. Es decir, las especies (simbolizadas por una sigla) han sido colocadas en el orden indicado por las reorganizaciones cromosómicas necesarias y suficientes para que pueda pasarse del cariotipo de la especie A al de la especie B: genealógicamente, la especie A no puede sino preceder a la especie B.**
Puede observarse que la rama de los platirrinos (monos de América no detallados en el diagrama) se separa en el árbol genealógico, muy al principio de la rama que nos lleva hacia los catarrinos. Ésta se subdivide en la línea de los cercopitecoides, por un lado, y en la rama de los póngidos, por el otro. En lo que aquí concierne, puede observarse que el orangután se separa pronto del grupo gorila-chimpancé-hombre. Reparemos en la posición del hombre, formando una de las 3 ramas de una triple línea (las otras ramas nos llevan al chimpancé y al gorila), y que la evolución cromosómica de las especies se hace de forma preferencial para ciertas reorganizaciones, según las ramas (fisiones para los cercopitecoides; fusiones para los lemúridos; inversiones para los póngidos).

vas especies, aunque esta intervención pueda no ser exclusiva. Como también hemos dicho, es necesario revisar exhaustivamente, pues, la contribución de las reorganizaciones cromosómicas en dichos procesos.

Una paradoja: las reorganizaciones cromosómicas pueden difundirse en el interior de las poblaciones

Según las primeras teorías, la formación de una nueva especie gracias a las reorganizaciones cromosómicas habría necesitado que, al aparecer éstas en el seno de una población, los individuos portadores de la misma reestructuración sobre los 2 cromosomas de un par (individuos homocigotos) fueran rápidamente aislados, lo cual ha hecho imaginar escenarios bastante complicados —como la teoría adánica— para explicar la formación de tales individuos homocigotos (*La Recherche,* n° 44, p. 334, abril 1974). Nuestros propios trabajos nos han demostrado que tales escenarios no son necesarios: a pesar de la disminución de descendientes entrañada por una reorganización que afecte únicamente a un cromosoma de un par (heterocigoto), esta modificación puede extenderse en la población y hacerse mayoritaria[7] (la nueva población contribuiría así a la formación de una nueva especie). Por de pronto, recientes observaciones en el saimiri, en el tutacusillo o en el orangután nos han mostrado que en una misma población, individuos homocigotos o heterocigotos para diferentes reorganizaciones cromosómicas pueden coexistir e incluso cruzarse. El dogma de una especie-un cariotipo no es, pues, generalizable.

Por otra parte, en la especie humana, una reorganización que sólo afecte a un

cromosoma de un par (estado heterocigoto) engendra, ciertamente, un número de descendientes inferior al normalmente esperado. Pero, de forma aún no explicada, la reorganización cromosómica de un progenitor heterocigoto puede estar representada en el cariotipo de sus descendientes con más frecuencia que lo que cabría esperar según la distribución aleatoria de los caracteres hereditarios.

Hemos encontrado, por ejemplo, que en el caso de la fusión de los cromosomas 13 y 14 o de los cromosomas 14 y 21, el 60 % de los descendientes presentan la modificación del progenitor (en lugar del 50 % esperado).[16] Este mecanismo de transmisión preferencial de los cromosomas con reestructuraciones puede explicar que a pesar del bajo número de descendientes de padres heterocigotos, las reorganizaciones cromosómicas pueden distribuirse en una población hasta convertirse en el tipo mayoritario.

Desde el momento en que las reorganizaciones cromosómicas pueden difundirse en el seno de las poblaciones se ha de admitir que la barrera de reproducción no será eficaz de golpe sino progresivamente.

Gracias a estos fenómenos, las reorganizaciones cromosómicas se mantienen en una población. Esta forma de ver el problema es coherente con nuestra hipótesis sobre el origen del hombre, chimpancé y gorila a partir de una población común. Hemos visto que el árbol genealógico de los primates construido merced a la sucesión de reorganizaciones cromosómicas en las diferentes especies, encaja admirablemente con el árbol genealógico obtenido con los datos combinados de la inmunología y de la bioquímica de proteínas y ácidos nucleicos. Recientemente, A.C. Wilson, en Berkeley,[17] ha conseguido al respecto una información complementaria: la comparación de los ácidos nucleicos de las mitocondrias de las especies cuestionadas nos permiten perfilar un árbol genealógico donde el hombre se halla más próximo al chimpancé que al orangután.

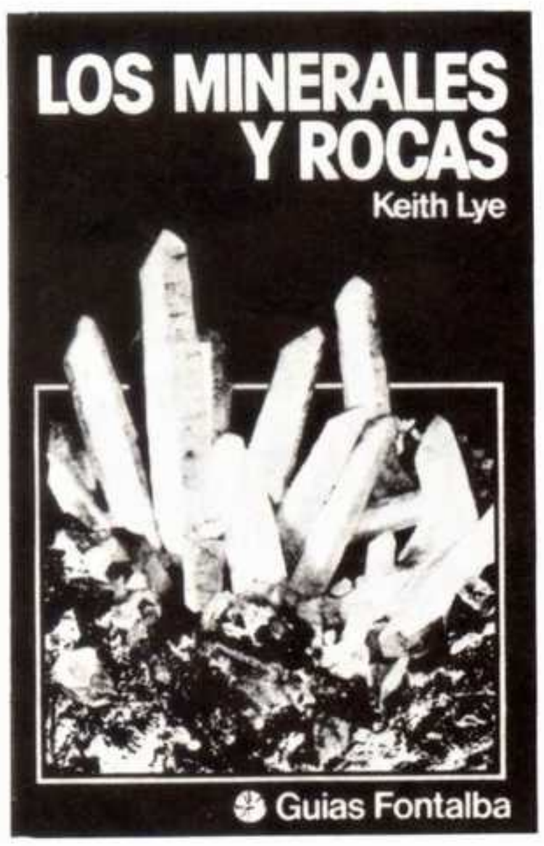
Para finalizar, nos podemos preguntar si los cambios morfológicos de los cromosomas cuando se pasa de una especie a otra son responsables de cambios anatómicos en la especie (o de algún otro carácter).

Actualmente, en la población humana se encuentran individuos portadores de mutaciones cromosómicas que reconstruyen los cromosomas del antepasado de los póngidos o, por ejemplo, del gorila. Los individuos portadores de tales cromosomas no presentan ningún carácter simiesco y ¡no se distinguen en nada de otros miembros de la raza humana!

Está claro, pues, que las mutaciones cromosómicas no modifican por ellas mismas los caracteres morfológicos de la especie. Es probable que su papel en la evolución consista, tal como nosotros hemos visto, en permitir únicamente el aislamiento sexual previo a la separación de las especies. ■

LOS MINERALES Y ROCAS

Keith Lye



El lector encontrará en esta guía científica una información cuidadosamente seleccionada sobre las características de los distintos tipos de rocas y minerales existentes en nuestro planeta, además de sus aplicaciones prácticas en el terreno de la joyería.
Una guía exhaustiva de los minerales importantes y otra de las rocas más destacadas completan el material presentado con absoluto rigor y con un estilo sencillo, que facilita su comprensión.

Formato: 13,5 × 20 cm
Páginas: 128 en cartoné
Fotografías e ilustraciones a todo color

P.V.P.: 725 pts.

Pidalo a su librero o contrarreembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.

VALENCIA, 359 - 6.º 1.ª
BARCELONA-9 (ESPAÑA)

Para más información:

■ R. Caballín, «Estudio de la filogenia cromosómica de *Homo, Pan* y *Gorilla.* Inducción experimental de reorganizaciones». Tesis Doctoral, setiembre 1981, Barcelona.

■ B. Dutrillaux, *Sur la nature et l'origine des chromosomes humains,* Expansion Scientifique, 1975.

■ J. Egozcue, «Evolución cromosómica de los Primates», *Inv. y Ciencia, 9,* 72-81, 1977.

■ A. Estop, M. García, M. Ponsà, «Evolució cromosòmica a Primats i la seva relació amb la fil·logènia humana», Premio de Investigación Ciudad de Barcelona, 1981.

■ J. de Grouchy, *De la naissance des espèces aus aberrations de la vie,* R. Laffont, 1978.

■ B. Dutrillaux, «Chromosomal evolution in primates: tentative phylogeny from Microcebus murinus (Prosimian) to Man», *MuH. Genet., 48,* 251-314, 1979.

■ R. Miró, «Aplicación de las técnicas de bandas cromosómicas al estudio de la distribución de la heterocromatina en primates», Tesis Doctoral, marzo 1981, Barcelona.

■ M.J.D. White, *Animal cytology and evolution,* Cambridge University Press, 1973.

■ M.J.D. White, *Modes of speciation,* Freeman, 1978.

(16) B. Dutrillaux, en *Journées parisiennes de pédiatrie,* Flammarion, 1972.
(17) S.D. Ferris, A.C. Wilson, W.M. Brown, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 78,* 2432, 1981.

CONCEPTOS Y TÉCNICAS GENERALES EN CIRUGÍA PLÁSTICA

L. MIR Y MIR

Jefe del Servicio
de Cirugía Plástica-Estética y Reparadora
del Instituto Policlínico de Barcelona

Prólogo del Dr. Ricardo Baroudi

Formato: 18,5 x 26 cm. 650 páginas.

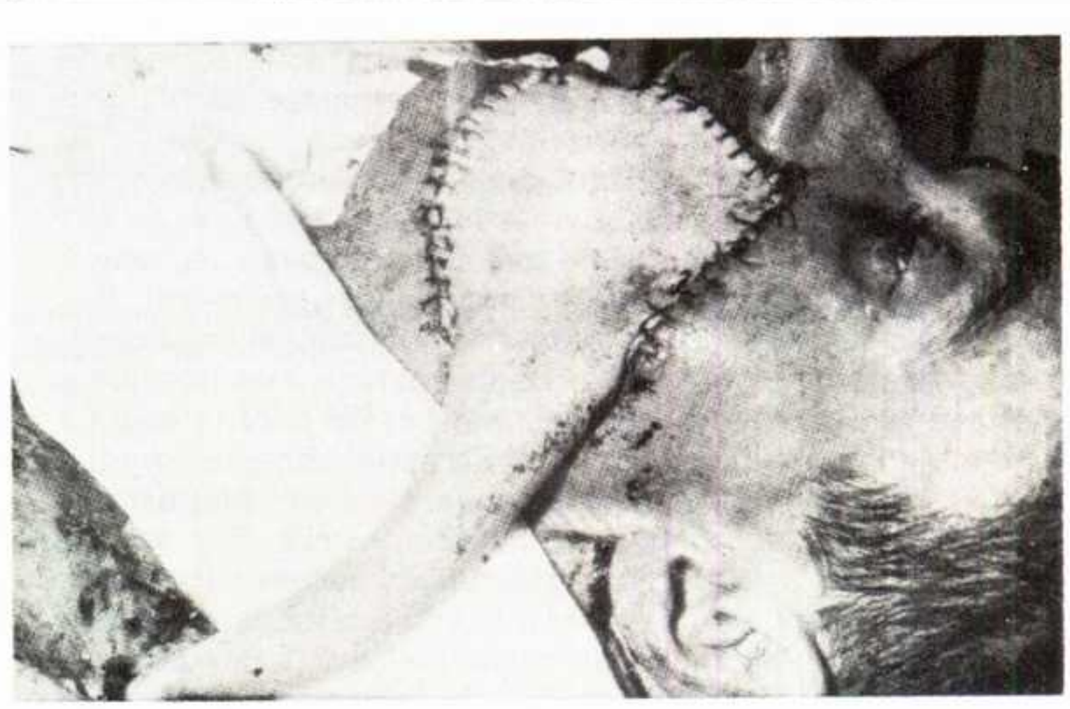
Ilustraciones: más de 2.000 fotografías en color y en blanco y negro.

Lujosa encuadernación en símil piel con estampación en oro.

P.V.P. 8.000 pts.

La cirugía plástica, presente ya en los albores de la cirugía en las primeras épocas de la humanidad, es, no obstante, una especialidad quirúrgica de nuevo cuño en lo que concierne a reconocimiento oficial.
Su desarrollo a partir de la primera guerra mundial ha sobrepasado todo lo previsto, y más de 6 000 cirujanos plásticos reconocidos en el mundo entero confirman nuestro aserto. No es de extrañar, por lo tanto, que las innovaciones y las técnicas se multipliquen dando lugar a un confusionismo conceptual y etimológico que dificulta, ya de entrada, el entendimiento entre los diversos grupos o escuelas de los diferentes países.
Esta obra sobre Conceptos y Técnicas Generales en Cirugía Plástica, fruto de 35 años de experiencia clínica y docente a través de los cursos anuales impartidos por el autor, viene a llenar un vacío didáctico y conceptual en la especialidad. La amplia y dilatada casuística del autor, más una iconografía difícilmente igualables, avalan con mayor fuerza la exposición y puntos de vista del mismo.

Obra imprescindible para todo cirujano plástico, lo es más aún para el que se inicia en la especialidad y a partir de sus primeros pasos quiere pisar firme y avanzar sin titubeos en la amplia temática que ofrece tan interesante especialidad quirúrgica como es la cirugía plástica, reparadora y estética.



Pídalo a su librero o contrarreembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.
Valencia, 359 · 6.º 1.ª
Barcelona-9 (España)

DOSSIER:

La energía nuclear, también un paso hacia la bomba

por Martine Barrère

■ Reactores de investigación, centrales de energía, fábricas de enriquecimiento o de reprocesamiento... son instalaciones nucleares ya en funcionamiento en varias decenas de países; construidas con fines pacíficos, sin duda pero ¿no podrían abrir una puerta a las aplicaciones militares? De hecho no existe un «cerrojo» técnico que lo impida. La realidad es que tanto el uranio 235 como el plutonio, ingredientes de la bomba, estarán pronto al alcance de un gran número de países. Parece que ahora ya nada puede evitarlo y la responsabilidad de ello recae indiscutiblemente en las naciones industrializadas.

■ Para fabricar una bomba atómica son suficientes de seis a ocho kilos de plutonio 239 o unos veinte kilos de uranio 235. Osirak, el centro iraquí bombardeado por Israel, necesitaba para su funcionamiento veinticinco kilos de uranio 235 ¡Una cantidad sobradamente suficiente para fabricar un arma nuclear! Igualmente, la fábrica de reprocesamiento subterránea que Francia vendió en los años sesenta a Israel puede proporcionar en funcionamiento normal una decena de kilos de plutonio por año.(1) Este país ha podido producir, por tanto, de diez a veinte bombas atómicas.

Estas instalaciones nucleares, y muchas otras, han sido vendidas para «fines pacíficos»: se trataba de hacer del átomo de uranio una herramienta «para la paz, la salud y la prosperidad del mundo entero», y de que cada país se comprometiera solemnemente a respetar este objetivo.

Entonces ¿por qué la India hizo explotar en 1974 una bomba? ¿por qué el Pakistán se declara dispuesto a hacerlo sin pérdida de tiempo? Porque ningún «cerrojo» técnico puede impedir a un gobierno el acceso al arma nuclear a partir del pacífico átomo si ésta es su voluntad, según declara finalmente el CEA (Comisariado de la Energía Atómica) a través de A. Petit, su director adjunto de relaciones internacionales, con quien me entrevisté en agosto pasado.

El problema de la proliferación nuclear comenzó a plantearse en el mismo momento que el uranio pasó del campo militar al campo «pacífico» o civil. Ése día, el átomo se convirtió en un elemento indispensable para la investigación y en combustible básico para la energía del futuro. Bajo este concepto, su utilización no podía sino ser difundida lo más ampliamente posible.

Al margen de sus cartas de legitimación, el uranio se convirtió en un objetivo económico fabuloso. Con la firma de un acuerdo con África del Sur en 1976 para la venta de dos centrales nucleares de 900 MW, Francia, o más bien Framatome, compañía franco-americana de construcciones nucleares,(2) se aseguraba una cifra de negocio de 10 a 15 mil millones de francos. Hoy los países industrializados se disputan los mercados del mundo entero. André Giraud, ministro de Industria, decía el 30 de noviembre de 1978 en el *Forum des Echos* sobre «la Francia del mañana»: «Recordaré uno de los ejes fundamentales de nuestra política industrial: la necesidad de equilibrar nuestras compras de materias primas. Para conseguirlo hace falta que nuestra industria responda a ciertas condiciones y sobre todo que venda en mercados exteriores. Si solamente lo hace en el mercado interior, el relanzamiento no será más que interno y en consecuencia generador de inflación. Pero para vender en los mercados exteriores, nuestra industria se debe orientar hacia los mercados rentables, mercados nuevos que se desarrollan rápidamente y que proporcionan un margen suplementario». Framatome lo ha entendido así, ya que inscribió estas frases en la cabecera de un folleto publicado en 1978 con ocasión de su veinte aniversario. En su último boletín de mayo, esta compañía se declara desde aquel momento primer vendedor mundial de calderas nucleares para reactores de agua a presión (los reactores más extendidos en todo el mundo).(3)

Actualmente las instalaciones nucleares, los laboratorios de investigación o las centrales energéticas están siendo construidas progresivamente en todos los rincones del mundo. Algunas se reconocen como instalaciones «proliferantes», como las fábricas de enriquecimiento de uranio y de reprocesamiento; otras son más difícilmente desviables hacia objetivos militares. Sin embargo, sea cual fuera la forma bajo la que sea desarrollada, la energía nuclear civil conduce a plazo más o menos largo al dominio de la producción de uranio 235 y de plutonio. Luego, que un país fabrique o no su bomba, que la haga o no explotar, es otro problema que incumbe al equilibrio de fuerzas a nivel mundial. Pero que la energía nuclear conduce a la bomba, nadie lo duda.

La bomba al alcance de todos

Oficialmente son seis los países que han realizado hasta ahora explosiones nucleares: Estados Unidos, la Unión Soviética, Gran Bretaña, Francia, China y más recientemente la India. Y nadie duda de que Israel y África del Sur han fabricado también un cierto número de bombas aunque, evidentemente, no las hayan hecho explotar.

¿Cómo se accede, pues, al arma atómica? De hecho es relativamente «fácil» cuando se posee la materia prima. Numerosas publicaciones americanas muy difundidas explican cómo, con unos diez kilos de plutonio obtenidos a partir del combustible usado de las centrales nucleares, se puede fabricar una bomba.(4) El primer problema es, pues, poseer el material de base. Como muestra la figura 2, son dos las vías posibles: la vía del uranio 235 y la vía del plutonio. Cada una de ellas fue objeto de una demostración espectacular: la bomba que explotó en Hiroshima el 6 de agosto de 1945 era de uranio 235 y la que destruyó Nagasaki el 9 de agosto del mismo año estaba compuesta de plutonio.

La vía del uranio 235 pasa por el dominio de la técnica del enriquecimiento del uranio. El uranio natural, de hecho, está compuesto de 99,3 % uranio de peso atómico 238 y de 0,7 % uranio de peso atómico 235. Es el uranio 235 el que es fisil, es decir, susceptible de escindirse al ser bombardeado por neutrones y de producir así nuevos neutrones y calor nuclear. Estos nuevos neutrones sirven a su vez para provocar la fisión de otros núcleos en lo que se llama «reacción en cadena». El uranio 238, en cambio, absorbe neutrones. Para que la reacción en cadena se estabilice hace falta reunir en un mismo volumen una masa suficiente de material que contenga núcleos fisibles; se trata de la llamada masa crítica. En un reactor nuclear, la masa crítica es tal que la reacción en cadena está controlada para producir una liberación de energía continua y predeterminada. La masa crítica de una bomba atómica conlleva, contrariamente, una aceleración extraordinariamente rápida de la reacción en cadena que conduce a una explosión liberadora de una gran cantidad de energía. Fue durante los años cuarenta cuando se construyó en los Estados Unidos la primera fábrica de enriquecimiento de difusión gaseosa, sistema que ha sido el primero en ser realmente desarrollado en gran escala, y que se basa en las propiedades de difusión diferentes de los dos isótopos, U 238 y U 235, puestos en

(1) *The Nuclear Axis*, Z. Cewenka, B. Rogers, Julian Friedman Books, London, 1978. Esta información ha sido tratada además en *Le Monde* del 4 y 5 de mayo de 1975, sin haber sido seguida, que sepamos, de refutación oficial.
(2) Las acciones de Framatome están repartidas principalmente entre Empain-Schneider, 55 % (de las cuales un 51 % es de Creusot-Loire) CEA, 30 % y Westinghouse, 15 %.
(3) A decir verdad son esencialmente las calderas vendidas en Francia las que permiten a Framatome hacer esta afirmación.
(4) Véase, por ejemplo, *La bombe chez vous* de John McPhee, 1975, Editions Pauvert.

Figura 1. **El 16 de octubre de 1964, la China hizo explotar su primera bomba nuclear, convirtiéndose de esta manera en la quinta potencia nuclear militar. Pakistán, Corea del Sur y Taiwán son ahora claros candidatos a la posesión del arma nuclear.** (Foto Keystone.)

forma de fluoruros gaseosos y sometidos al paso forzado a través de una barrera porosa. A partir de 1955 fue desarrollado un segundo procedimiento: la ultracentrifugación. El uranio 238 y el uranio 235, por tener una masa distinta, tienen tendencia a separarse bajo la acción de la fuerza centrífuga cuando el uranio natural en forma gaseosa es colocado en un recipiente que gira a gran velocidad alrededor de su eje. El uranio 238, más pesado, se encuentra en mayores cantidades hacia la periferia del recipiente.

El procedimiento de difusión gaseosa ha sido durante largo tiempo utilizado para fines militares por Estados Unidos, la Unión Soviética, Gran Bretaña, Francia y China; después pasó a uso civil e industrial con el desarrollo de la energía nuclear, bajo la tutela de Estados Unidos y la Unión Soviética. Sin embargo, en los años setenta Francia se asoció con varios países, Italia, Bélgica, España e Irán, para construir en el marco de la sociedad Eurodif la fábrica de difusión gaseosa de Tricastin, que funciona desde 1979 (fig. 3). Por su parte, Alemania Federal, Holanda y Gran Bretaña constituyeron el consorcio URENCO con el objetivo de construir una fábrica piloto que utilizara la ultracentrifugación, en cada uno de los tres países. Nacieron así Copenhurst en Gran Bretaña y Almelo en Holanda. Otros países, como África del Sur, Canadá, Japón y Australia proyectan asimismo la construcción de centrales de enriquecimiento.

Las instalaciones de difusión gaseosa son muy energívoras y voluminosas y, por tanto, muy llamativas. En cambio, las de ultracentrifugación son mucho más conpactas y poco llamativas; son también menos costosas en energía: consumen diez veces menos que las anteriores. Estas razones explican que la ultracentrifugación sea considerada como una técnica proliferante. Es, en todo caso, la técnica de enriquecimiento más codiciada hoy día. Otro procedimiento, que utiliza el láser, se encuentra en estudio. En estos momentos está totalmente protegido por el secreto militar, pero la compañía americana Exxon desea comercializarlo en un plazo de diez años. Este sistema no necesita más que pequeños edificios y consumirá poca energía. Todas estas técnicas permiten fabricar uranio con una tasa de enriquecimiento teórico del 100 %; de donde, el enorme peligro que representa su proliferación. En 1977, en el congreso de Salzburgo el señor Giraud, entonces administrador general del Comisariado de la Energía Atómica (CEA), se apuntó también un éxito cierto cuando anunció que Francia estaba en curso de poner a punto una técnica, llamada de separación isotópica, no proliferante, ya que no permitiría sobrepasar tasas de enriquecimiento superiores al 3 %. Esta técnica no parece haber podido ser desarrollada tan rápidamente como había sido anunciada ya que, después de un acuerdo establecido el año pasado con Estados Unidos, no se hablaba más que de la construcción de un laboratorio de estudio común.

Evidentemente, la forma más inmediata de fabricar una bomba con uranio 235 sería utilizar directamente uranio ya enriquecido, que puede conseguirse por vía de los reactores de investigación, cuya potencia alcanza generalmente algunos MWt,[5] y se caracterizan por contar con un flujo de neutrones elevado que les permite ser, por su configuración, un buen instrumento para la física nuclear fundamental y para el estudio de los materiales que forman la estructura de las centrales nucleares. Su combustible es uranio generalmente muy enriquecido. Es hacia 1955 cuando los norteamericanos empiezan a exportar reactores de investigación en el marco del programa «Átomos para la Paz» de la administración Eisenhower; al poco siguieron los soviéticos, alemanes y

(5) 1 MWt o MW térmico es igual a 1/3 MWe o MW eléctrico. La relación 1/3 es debida al rendimiento del 33 % en el paso a potencia eléctrica.

Una central supergeneradora como Super-Phénix podría permitir la producción de algunas decenas de bombas anualmente.

materia fisil	en forma de metal (kg)	en forma de óxido (kg)
plutonio militar (239)	4	6
plutonio industrial	8	10
uranio enriquecido en 235 (93 %)	17	20
uranio enriquecido al 20 % en 235	250	375
uranio enriquecido al 10 % en 235	1 000	1 500
uranio enriquecido al 5 % en 235 (combustible para centrales de agua ligera)	inútil para la fabricación de un ingenio explosivo	

Figura 2. **La cantidad de materia fisil necesaria para la fabricación de una bomba atómica depende de la calidad y del tipo de la utilizada. Así esta tabla muestra las cantidades mínimas suponiendo la existencia de un reflector de neutrones eficaz. Según los documentos, estas cantidades pueden diferir ligeramente: las cifras citadas arriba proceden de la *Revue Générale Nucléaire* (1977), pero son citadas también en *Review of Modern Physics* (*50*, nº 1, enero 1978).**

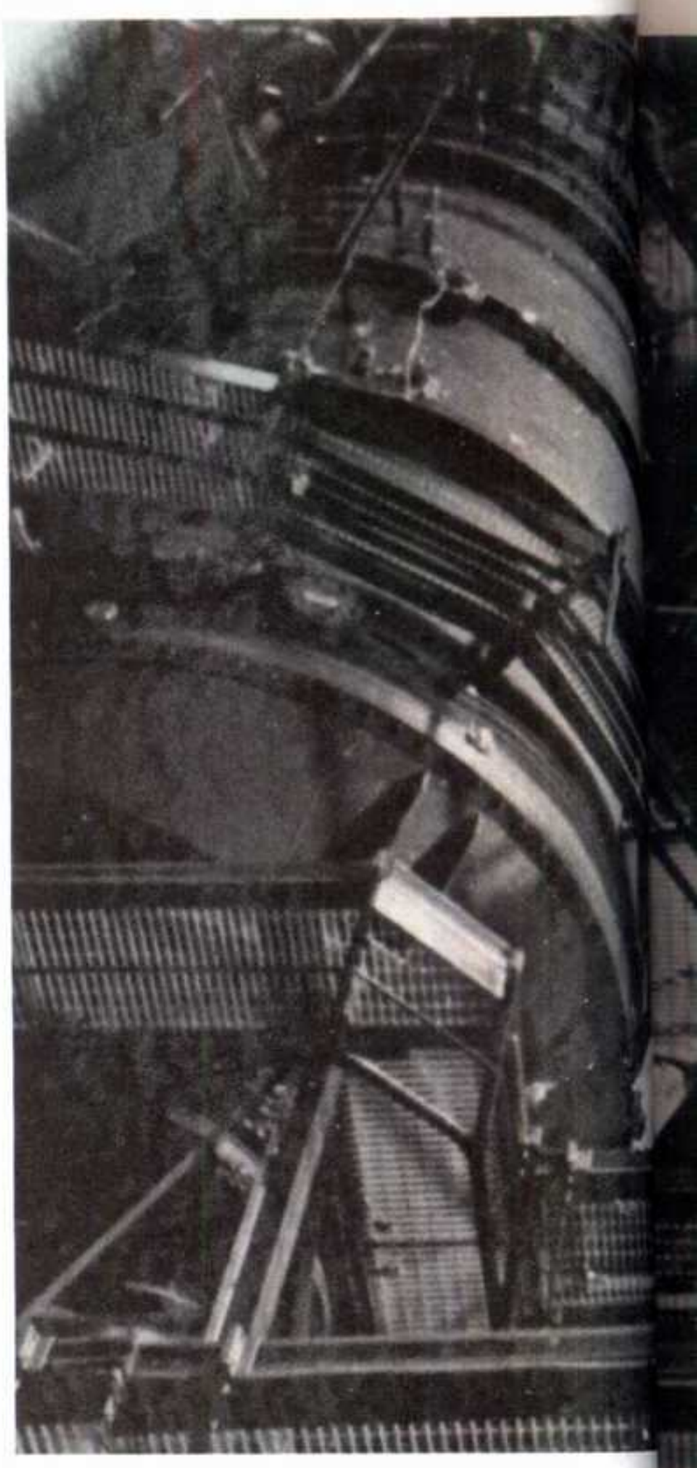


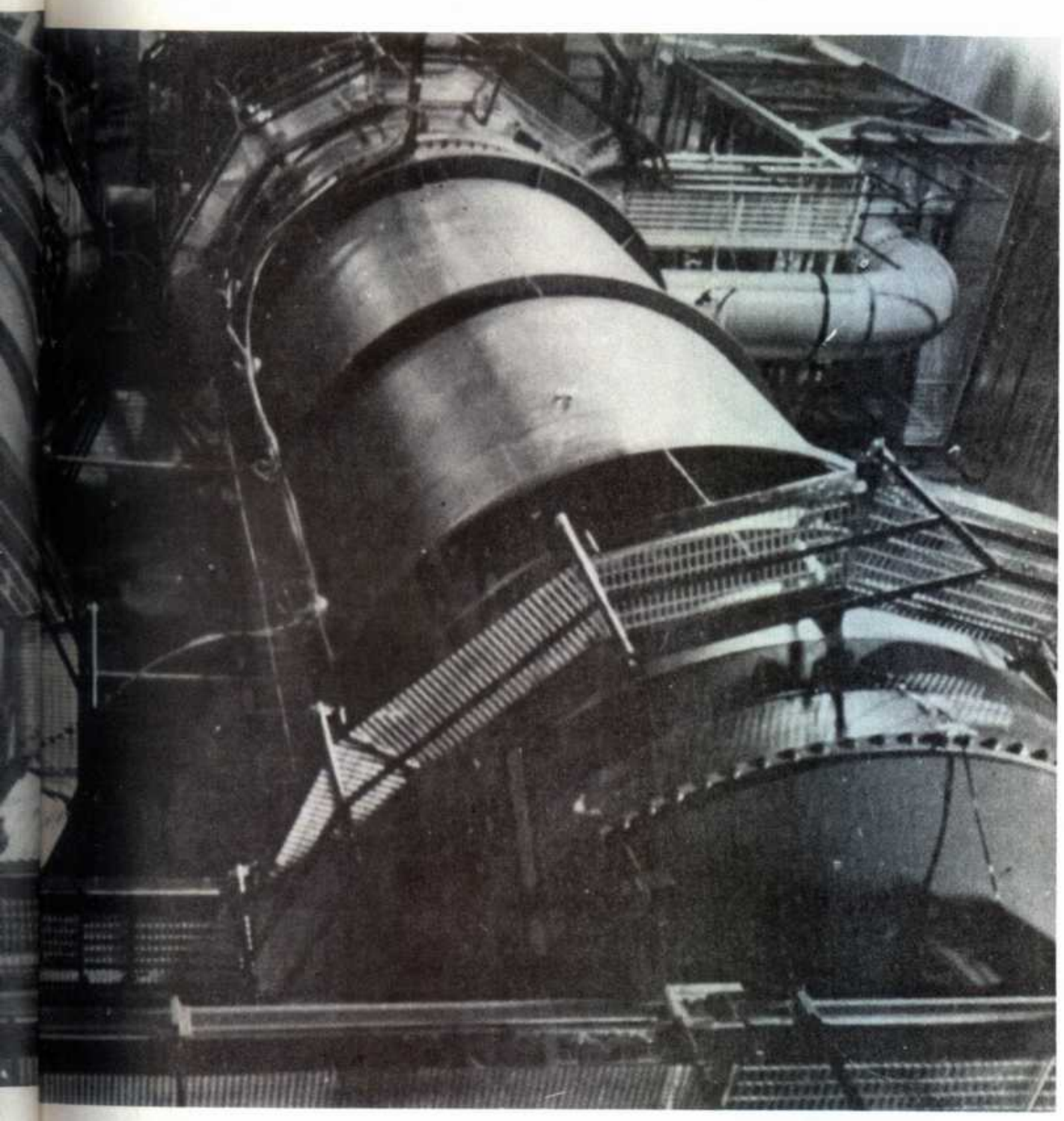
Figura 3. **Estos difusores han sido fotografiados en la fábrica de enriquecimiento por difusión gaseosa de Eurodif, situada en Tricastin. Esta técnica fue desarrollada por primera vez en los Estados Unidos en 1940; ha sido utilizada principalmente para fines militares hasta los años setenta. Es la única técnica de enriquecimiento de uranio que ha alcanzado realmente el nivel industrial; es considerada poco proliferante, ya que sus instalaciones son muy energívoras y voluminosas; por tanto poco disimulables.** (Foto Eurodif-CEA.)

franceses. Actualmente existen unos 150 reactores de investigación, que necesitan uranio a menudo muy enriquecido (fig. 4). Los dos reactores vendidos por Francia al Irak, por ejemplo, requieren respectivamente 12,9 kg de uranio enriquecido al 93 %. Esta cantidad de uranio 235 es suficiente para fabricar rápidamente una bomba. Es necesario, sin embargo, utilizar el combustible «nuevo» ya que éste se transforma desde el momento que el reactor es puesto en funcionamiento. Por una parte, la cantidad de uranio 235 disminuye, y por otra, la producción de neutrones vuelve al combustible muy radiactivo y su manipulación es cada vez más compleja. Cabe imaginar también la posibilidad de que este combustible sea robado durante su transporte o almacenamiento. Es para paliar los efectos de semejante eventualidad que Estados Unidos, desde hace unos diez años, y Francia más recientemente, estudian la puesta a punto de un combustible enriquecido en menos del 20 % en uranio 235, siendo este porcentaje el límite por debajo del cual las cantidades requeridas para fabricar la bomba se consideran exorbitantes. El problema técnico consiste en fabricar un combustible que ofrezca, pese a su escaso enriquecimiento, las mismas prestaciones elevadas del reactor. La principal compañía norteamericana exportadora de reactores de investigación, la General Atomic, ayudada financieramente por el Departamento de la Energía, ha puesto a punto un combustible enriquecido en un 20 % adaptado a los reactores «TRIGA». En Francia, el Comisariado de la Energía Atómica ha fabricado «Caramel», enriquecido en un 7 % de uranio 235, que hasta ahora sólo se ha probado en el reactor Osiris (el padre de Osirak) en Saclay, que funciona desde hace varios meses con este nuevo combustible. Sin embargo Caramel, u otro combustible débilmente enriquecido, no solucionará el problema de la proliferación. Tomemos el ejemplo de Irak. Francia tomó como pretexto el carácter muy proliferante del uranio enriquecido al 93 %, para evitar el suministro del combustible a Irak en medida superior a la de su utilización. Pero si este país hubiera aceptado Caramel, no proliferante por definición, Francia difícilmente hubiera encontrado argumentos, como me ha confirmado A. Petit, para no suministrar núcleos de gran potencia. De esta manera se podrían fácilmente acumular unas reservas importantes de uranio susceptible de ser enriquecido en fábricas de enriquecimiento o también de ser transformado en plutonio por bombardeo neutrónico.

¿Y quién no tiene su central nuclear?

La segunda vía de acceso a la bomba, la vía del plutonio, es actualmente la más fácil. Ésta pasa por la producción de plutonio y por la técnica del reprocesado. Durante mucho tiempo los militares afirmaron que solamente el elemento muy puro, que no contuviera prácticamente más que plutonio 239, permitiría fabricar la bomba. Hoy los científicos son unánimes en afirmar que el plutonio producido por las centrales nucleares y que contiene una cierta cantidad de plutonio 240 también puede ser empleado. Simplemente es necesario un poco más (véase fig. 2), su manipulación es más delicada y el rendimiento inferior. Según un periódico de Los Ángeles del 14 de agosto de 1977, en 1962 se realizaron ensayos nucleares con bombas equipadas con plutonio extraído de centrales PWR, hoy las más extendidas en todo el mundo. El plutonio no existe en la Naturaleza; su producción pasa por el uranio 238, que se transforma en plutonio en cuanto absorbe un neutrón. Y esto sucede en los reactores nucleares.(6)

(6) El término general de reactor se emplea para designar una instalación nuclear donde se producen reacciones de fisión. Se emplea más el nombre de central cuando se trata de un reactor cuya finalidad es producir energía.



En los reactores de investigación, el núcleo contiene poco uranio 238, la potencia del reactor es a menudo débil y la producción de plutonio en funcionamiento normal será, pues, desdeñable. Para alcanzar aquel objetivo se pueden, sin embargo, tener en cuenta varias soluciones. Así, colocar las barras de uranio natural en emplazamientos internos del núcleo previstos para las experiencias, es la solución menos llamativa. También se puede reemplazar una parte de las barras de uranio muy enriquecido por barras de uranio natural o aun envolver el núcleo de una cobertura de uranio natural (véase cuadro 1).

En las centrales productoras de energía, la cantidad y calidad del plutonio producido es variable, según los tipos de reactor. Los mejores, en cuanto a producción de plutonio, son los que utilizan uranio natural como combustible. En efecto, las centrales de 1.000 MW pueden producir una media de 340 a 500 kg de plutonio por año. Para estas centrales son pocos los problemas de aprovisionamiento existentes, ya que la mayor parte de los países poseen uranio en su territorio.

Por otra parte, las barras de combustible se encuentran en número muy elevado, varios miles en el caso del tipo francés (llamado de grafito-gas) y pueden ser retiradas y colocadas sin parar la central. De esta manera las operaciones de extracción indebida de barras pueden ser realizadas en cualquier momento y el control del combustible es, pues, prácticamente imposible. Estas centrales son por esencia proliferantes: recordemos que la primera bomba india, que explotó en 1974, fue fabricada gracias a centrales de uranio natural CANDU, vendidas por el Canadá. Las centrales a base de uranio natural fueron las primeras en ser desarrolladas en los países occidentales. La razón era militar: permitían fabricar plutonio 239 muy puro. Las exportaciones comenzaron en 1955 con la venta de una central canadiense a la India.

Ese mismo año, Francia vendió a Israel el reactor de uranio natural instalado en Dimona. También Gran Bretaña participó en estos primeros mercados: vendió a Italia el reactor de Latina, y al Japón el de Tokaï-Mura. Diez años más tarde Francia cedía el reactor de Vandellós a España, y Alemania el de Atucha a la Argentina. Desde hace diez años los canadienses se han quedado como únicos exportadores de reactores de uranio natural, que han vendido a la India, al Pakistán, Taiwán, Corea del Sur y Argentina (véase cuadro 2).

Por su parte, Gran Bretaña continúa desarrollando en su territorio reactores MAGNOX de uranio natural. Sin embargo, la mayoría de centrales en construcción o en funcionamiento en el mundo utilizan uranio débilmente enriquecido, cerca del 3 % de uranio 235. Este combustible fue concebido originalmente para responder a las necesidades de la propulsión de los submarinos mediante energía nuclear.

En los años setenta, los industriales norteamericanos que llevaban mucho terreno ganado a los otros países, inundan el mundo entero de sus centrales de uranio enriquecido al 3 %.

Se cuentan hoy día más de trescientas centrales de este tipo en funcionamiento (fig. 5), que, para una potencia de 1 000 MW, pueden producir 250 kg de plutonio por año. Sin embargo, se las considera no proliferantes ya que, como se ha visto, solamente un número muy limitado de países, tienen el monopolio de la producción del combustible enriquecido. Por otra parte, es mucho más fácil mantener el control sobre el destino de los elementos combustibles: éstos son poco numerosos (del orden de unos 150), voluminosos (cuatro metros de alto) y deben ser descargados obligatoriamente durante la parada del reactor (un tercio de los elementos son retirados cada año durante un período de parada de unas tres semanas, al menos).

Finalmente, los mejores instrumentos para la producción de plutonio serán sin duda las centrales supergeneradoras, si es que algún día son producidas en serie. La mayor de ellas actualmente en funcionamiento está instalada en la Unión Soviética y posee una potencia de 600 MW; Francia está terminando la central Super-Phénix, de 1 300 MW, cuya puesta en marcha está prevista para 1983-1984. Sin hablar del combustible mismo, que contiene ya al principio mucho plutonio, en las coberturas que rodean el núcleo del Super-Phénix, por ejemplo, se producirán anualmente unos 140 kg de plutonio 239 prácticamente puro, con lo que se podrían fabricar una veintena de armas atómicas cada año.

Francia, campeona del reprocesamiento

Hoy es cierto que numerosos países son capaces, por diversos medios, de transformar uranio en plutonio. ¿Pero pueden con ello disponer de plutonio? Para esto es necesario reprocesar el combustible quemado dentro del reactor. El objetivo del reprocesamiento es la separación de los distintos elementos contenidos en el combustible irra-

Todo país que domine, incluso a escala de laboratorio, la tecnología de reprocesamiento tiene los medios de fabricar armamento nuclear.

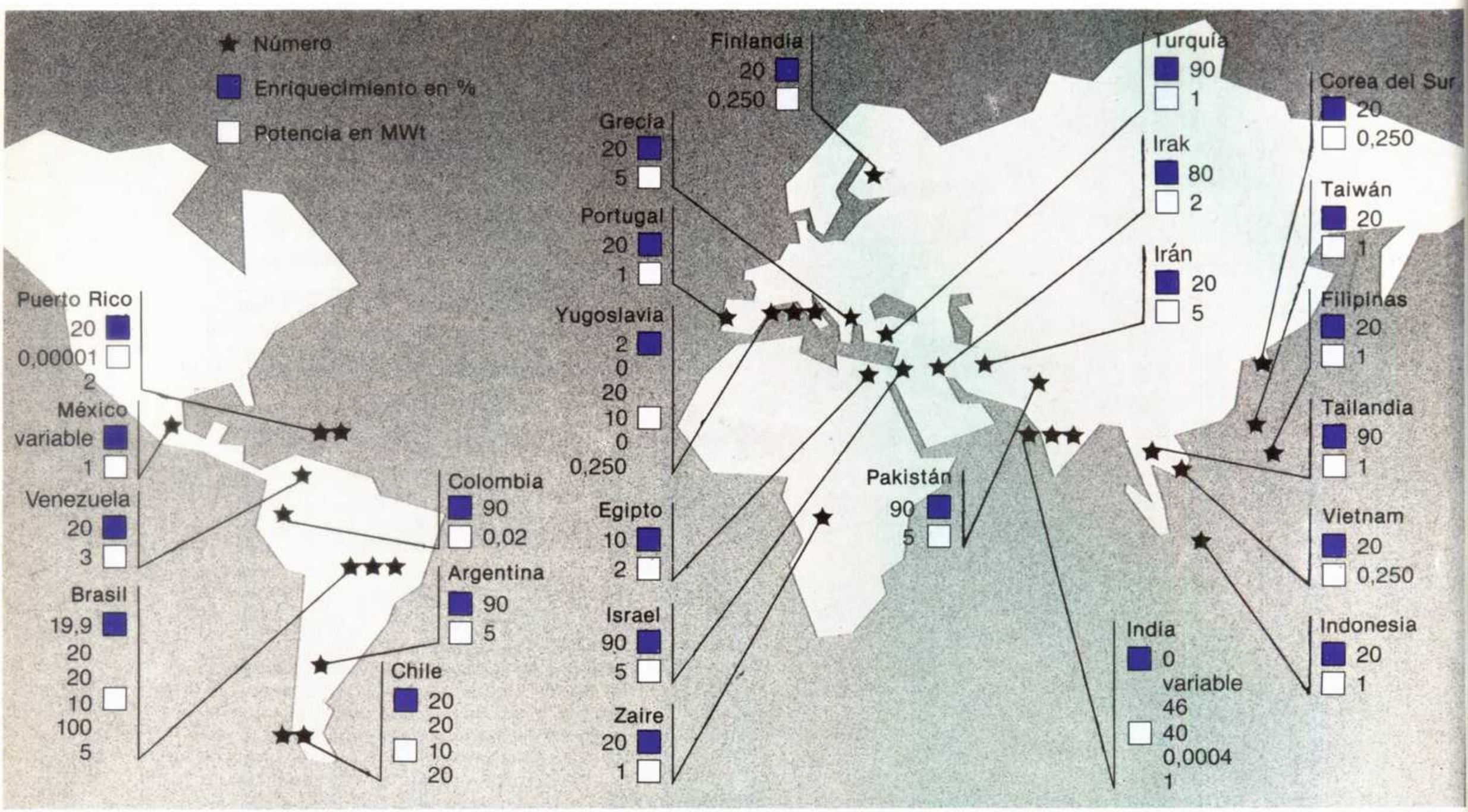


Figura 4. **Los reactores de investigación están repartidos un poco por todo el mundo. Hemos indicado aquí los países que no dominan oficialmente el ciclo nuclear, indicando el número de reactores de investigación que poseen, el enriquecimiento de su combustible en uranio 235 y la potencia del reactor. Para que la lista de reactores de investigación sea exhaustiva habría que añadir los aproximadamente doscientos reactores que existen en África del Sur, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Suiza, Dinamarca, España, Estados Unidos, Francia, Holanda, Italia, Japón, Noruega, Alemania Federal, Gran Bretaña, y Suecia.** (Estas cifras proceden de la *Revue Générale Nucléaire, 320,* nº 4, agosto-septiembre de 1978).

diado, y en particular el uranio y el plutonio. Esta tecnología ha sido durante largo tiempo mantenida en secreto y desarrollada solamente para fines militares; en los Estados Unidos en Standford, en Gran Bretaña en Windsale, en Francia en Marcoule. Los primeros combustibles salidos de los reactores de uranio enriquecido fueron reprocesados en 1966 en la fábrica de Eurochemic en Mol, Bélgica. Con esta instalación europea, la mayoría de los países de la OCDE adquirían así el dominio de la técnica del reprocesado. De hecho, esta tecnología rápidamente se demostró muy delicada para su desarrollo en gran escala, y a fines de 1974, todas las fábricas civiles eran paradas, a excepción de La Hague, en Francia.

El reprocesamiento, única vía de acceso al plutonio, aparece como el eslabón clave de la proliferación: todos los países que dominen, esta tecnología aunque sólo sea a nivel de laboratorio, disponen de los medios para fabricar armamento nuclear. Y ha sido el miedo a la proliferación nuclear lo que condujo a menudo al presidente Carter a intervenir políticamente en distintos países y a impedir el desarrollo del reprocesamiento industrial, incluso en Estados Unidos. Era un caso perdido porque ya estaban en construcción numerosas instalaciones piloto, por alemanes, italianos, belgas y franceses. Pero mirando más de cerca, la actitud de los Estados Unidos es bastante ambigua. En efecto, los contratos establecidos con los países importadores de centrales de uranio enriquecido estipulan que el destino del combustible irradiado queda en manos de los Estados Unidos. Bajo estas condiciones y conforme a los contratos, bien el combustible retorna a Estados Unidos bien es almacenado en piscinas, bien puede ser reprocesado en Francia con la autorización americana. De esta manera, los Estados Unidos han permitido indirectamente a Francia desarrollar sobre su territorio el reprocesamiento, tecnología «sucia» que ellos no desean en su propio suelo. El acuerdo propuesto a los países importadores de centrales era simple: si las condiciones requeridas no eran cumplidas, los Estados Unidos no suministrarían el combustible enriquecido al 3 %, del cual, hasta el año pasado, eran los únicos fabricantes (con la Unión Soviética, por supuesto). Francia, particularmente, se ha especializado en la exportación de fábricas de reprocesamiento al extranjero. Comenzó por la venta a Israel, además del reactor de uranio natural del cual ya se ha hablado, de una pequeña fábrica subterránea de extracción de plutonio situada en Dimona. Ha continuado con el Japón. A finales de 1970, a la compañía Saint-Gobain Techniques Nouvelles (SGTN), filial al 100 % del grupo Saint-Gobain Pont-à-Mousson, le fue confiado el papel de contratista general de una fábrica de reprocesamiento con el apoyo de una compañía japonesa. El coste total se elevaba a 200 millones de francos de la época, de los cuales 20 correspondían a material francés y cerca de 20 a servicios de SGTN. En marzo de 1975, el valor de la fábrica fue estimado en 640 millones de francos. Esta fábrica fue construida en Tokaï-Mura, y posee una capacidad de reprocesamiento de 200 toneladas de uranio al 3 % por año. Una fábrica de esta talla, si mantiene un

1. Como servirse de Osirak para fines militares

■ Osirak, reactor experimental vendido por Francia en 1975 a Irak, es una réplica del reactor Osiris instalado en el Centro de Estudios Nucleares de Saclay.(1) Su instalación no se realizó precisamente sin problemas:(2) en abril de 1979 una explosión en el hangar de Construcciones Navales e Industriales del Mediterráneo, en Seyne-sur-Mer en el Var, daña la cuba de su reactor; el 30 de setiembre de 1980 se efectúa un primer bombardeo iraní sobre las instalaciones nucleares; no olvidemos los dos científicos, iraki y egipcio, colaboradores en el proyecto que fueron asesinados en Francia ni las amenazas que recibieron en Irak algunas de las compañías francesas implicadas por parte del Comité de Salvaguardia de la Revolución Islámica, para que no se enviara más personal a Osirak (las principales compañías son la CNIM —que sufrió ya una explosión—, Technicatom que asegura la ingeniería del proyecto), Bouyghes (encargada de la ingeniería civil), COMSIP (que se ocupa de la parte eléctrica).

Osirak, como Osiris, consiste en un reactor de potencia de 70 MWt (Tamuz I) aumentado con una maqueta neutrónica de gran tamaño, pero de débil potencia: 0,8 MWt (Tamuz II). Cada uno de los reactores necesita para su buen funcionamiento una misma cantidad de combustible: 13,9 kg de uranio metal que contiene 12,9 Kg de uranio 235. El núcleo de Tamuz I, en promedio debe ser cambiado en un tercio cada mes; por tanto, teniendo en cuenta las paradas habituales de todo reactor, el consumo del Tamuz I sería de 3 núcleos por año, es decir de unos 40 kg de uranio 235. El núcleo de Tamuz II, por el contrario, se gasta muy poco; esta maqueta es «un auxiliar destinado a efectuar todas las pruebas neutrónicas relativas a la configuración del núcleo», y permite simular el comportamiento del Osirak. El sistema contiene además «celdas calientes de desmantelamiento, en las cuales los elementos irradiados pueden ser recuperados».

Debemos imaginarnos el núcleo de un reactor como una caja paralelepípeda que contiene una reja agujereada que mantiene un cierto número de «elementos combustibles». En la configuración clásica del Tamuz I, los treinta y dos elementos están formadas por un conjunto de placas de aleación de aluminio y de uranio enriquecido. Hay también seis barras de control, quedan en él 18 posiciones disponibles para emplazar «probetas experimentales». Parece ser que para producir cantidades significativas de plutonio, la vía más fácil sería la de insertar elementos de uranio natural en el mismo núcleo. El calor suplementario desprendido por la transformación de este uranio podría ser eliminado por el sistema de refrigeración existente. También es posible disponer en torno al núcleo una cobertura de uranio natural. En este caso, el sistema de refrigeración debería ser modificado.

Para calcular la producción eventual de plutonio hay que conocer el número de neutrones susceptibles de transformar el uranio natural en plutonio. Un reactor como Osirak produce cerca de $3{,}10^{18}$ neutrones por segundo, para la potencia de 70 MWt. De hecho esta cantidad de neutrones no es totalmente disponible, ya que en ciertos núcleos atómicos, además del uranio 235, formados durante el funcionamiento del reactor absorben neutrones. Hay que tener en cuenta, también, los períodos de parada del reactor; de manera que si se escoge la opción de la cobertura, ésta no puede rodear completamente el núcleo y hay fugas de neutrones. En la realidad, los cálculos de neutrónica tienen siempre una cierta imprecisión, en la medida en que no se sabe modular exactamente el funcionamiento del núcleo. Sin embargo sea cuál sea la configuración del núcleo adoptada, la producción de plutonio puede ser perfectamente de una decena de kilos por año.

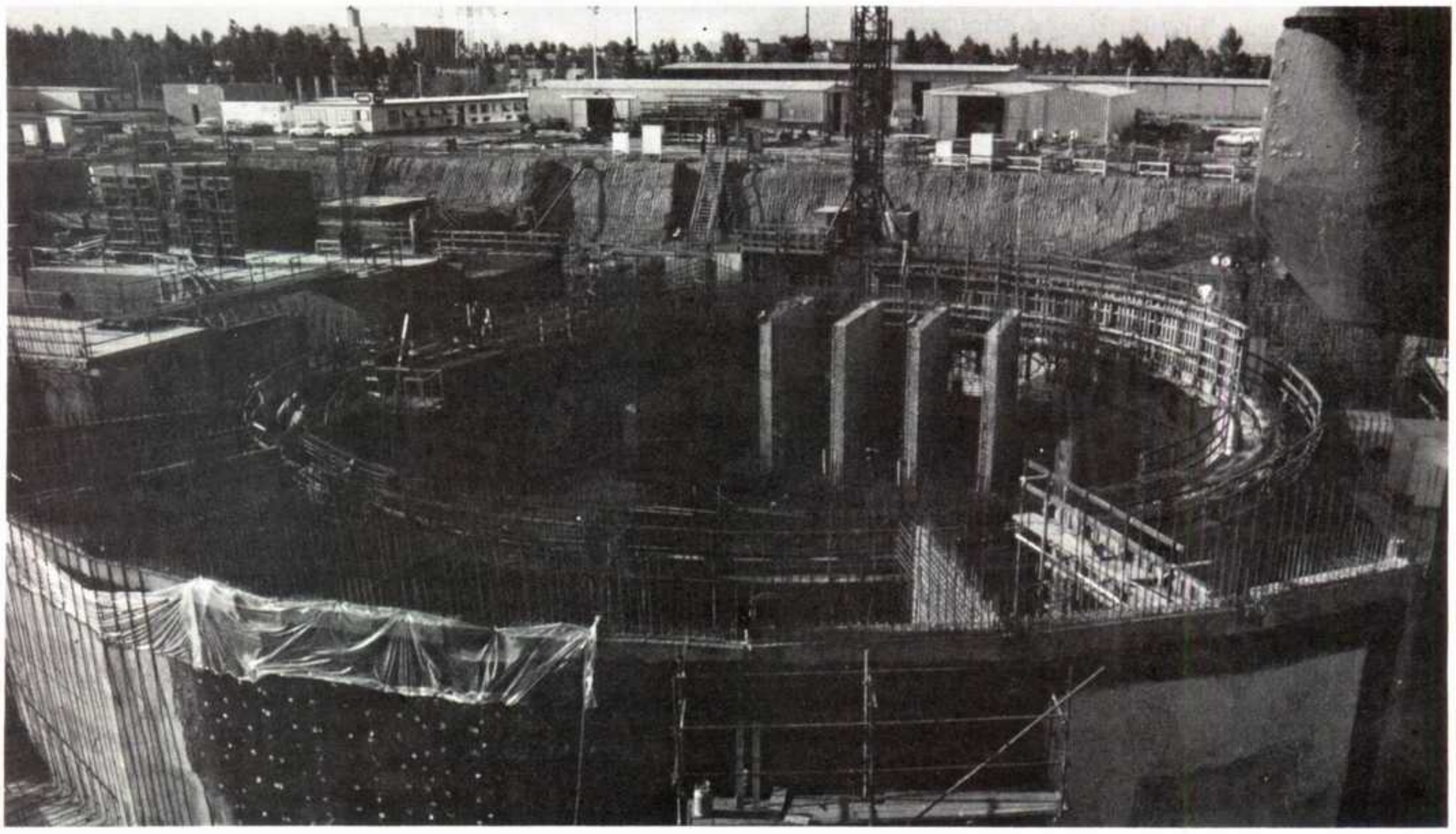
Un reactor de investigación tipo Osirak puede, por tanto, producir plutonio.(3). Sin embargo, parece difícil que esta producción no sea detectada por los controladores, en el supuesto de que tengan lugar inspecciones serias y a un ritmo continuado.

---

(1) De hecho, ha sido añadido, un bidón de agua pesada para acercar sus posibilidades a las de otro reactor de Saclay: Orphée.

(2) Incluso en el mismo Irak el gobierno ha arremetido contra ciertos científicos acusados de reaccionarios. Así en 1980, el director de investigaciones nucleares Hussein Sharistani y uno de sus colaboradores, D. Jaffar, fueron encarcelados; el primero de ellos ha sido condenado a muerte.

(3) Véase sobre el problema Osirak el documento redactado por G. Amsel, J.P. Pharabaud y R. Sené, publicado en *Temps Modernes*, setiembre de 1981.



Osirak en construcción. Este reactor fue bombardeado por la aviación Israelí el 7 de junio de 1981. (Foto Marc Riboud.)

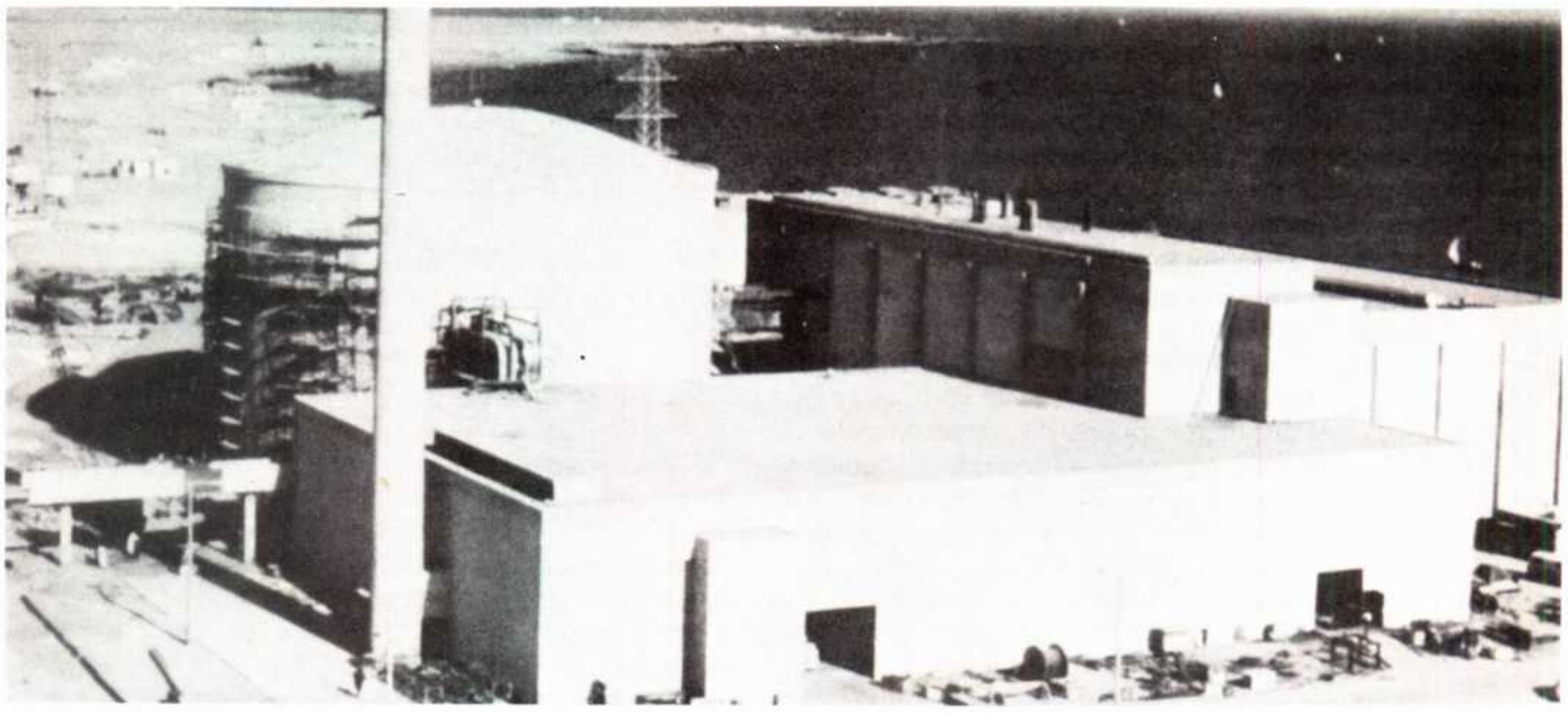
Los países industrializados son responsables del desarrollo del arma nuclear en los países en desarrollo.

funcionamiento a plena capacidad, puede proporcionar en torno a 1 500 kg de plutonio por año. Pero no fue hasta 1977 que la fábrica construida en Tokaï-Mura produjo su primer kilo de plutonio. Antes de la puesta en marcha de la fábrica hubo duras discusiones entre japoneses y norteamericanos. Los japoneses tuvieron que cumplir un período de prueba de dos años, durante los cuales la fábrica funcionó a un ritmo débil; tuvieron también que adaptar su funcionamiento al «coprocessing», técnica que no permite separar el uranio del plutonio. Hasta este verano su producción teórica estaba aún limitada por el gobierno norteamericano. Algunos años después de la firma del primer contrato, Saint-Gobain T.N. se interesó en la instalación de una segunda fábrica japonesa mucho más importante (1 500 toneladas por año), pero la tentativa fracasó debido al ultimátum puesto por los norteamericanos. De hecho, la fábrica de Tokaï-Mura siempre ha funcionado mal y sus períodos de parada para las reparaciones son más numerosos que los de buen funcionamiento.

Un tercer contrato conseguido por Francia ha hecho mucho ruido: se trata de la venta al Pakistán de una fábrica de reprocesamiento de 100 toneladas de uranio por año. Desde 1960, el Pakistán ha visto crecer progresivamente la capacidad nuclear de la India. Un primer reactor fue puesto en funcionamiento en 1956, un segundo en 1960, un tercero en 1964. La primera fábrica de reprocesamiento vendida por los canadienses funciona en Tarapur desde 1960 y fue seguida de una segunda en 1971. Y el 19 de mayo de 1974, la India realizaba una explosión nuclear subterránea. Si bien se puede atribuir la responsabilidad de esta primera bomba al Canadá, que financió la mitad de la primera central, suministró el combustible y preparó a sus técnicos, fueron, sin embargo, Estados Unidos quienes suministraron el agua pesada indispensable para el funcionamiento de los reactores canadienses. Las potencias nucleares quedaron consternadas, con una excepción: París. El administrador general de la CEA, A. Giraud, dirigió un telegrama de felicitaciones al presidente de la Comisión India de la Energía Atómica. Lo cierto es que Francia había ofrecido a la India su colaboración para la construcción, cerca de Madrás, de un primer supergenerador de 15 MW. De hecho, no es hasta 1969, un año antes de que la señora Gandhi anunciara la intención de su país de proceder a explosiones nucleares y al desarrollo de la tecnología nuclear con fines pacíficos, cuando el primer ministro del Pakistán, Ali Bhutto, decide dotarse de una fábrica de reprocesamiento. A finales de 1970, el CEA declara que el gobierno francés no pone ninguna objeción a este proyecto bajo reserva de que sea sometido al control de la Agencia Internacional de la Energía Atómica de Viena, la AIEA. Y en marzo de 1973, la Saint-Gobain T.N. firmó un contrato para el estudio conceptual de una fábrica de 100 toneladas por año. Paralelamente se acordó la presencia de ingenieros pakistaníes en Francia para familiarizarse con la técnica del reprocesamiento. Poco después de la explosión india, la embajada de Islamabad pidió al ministerio de Asuntos Exteriores que apoyara financieramente al Secretariado del Comercio para la adquisición de una fábrica Renault (145 millones de francos, MF), de una fábrica de fertilizantes (250 MF) y de la fábrica de reprocesamiento (180 MF). A finales de 1974, la Saint-Gobain T.N. firma un contrato para el estudio en detalle de la fábrica y su construcción sin esperar la incorporación del Pakistán a la Agencia de Viena. Este país consideraba prematuro firmar unos acuerdos de control para una fábrica que no sería puesta en marcha hasta cinco años más tarde. Es en esta época cuando las negociaciones entre Francia y Pakistán empiezan a sobrepasar las fronteras de los dos países, y el 19 de diciembre de 1974 *Nuclecnics Week* anuncia: «El Pakistán podría encargar una fábrica de reprocesamiento a Francia». A esta publicación se añade la denuncia de un acuerdo idéntico entre Francia y Corea del Sur. Estas noticias son recibidas especialmente mal, ya que aparecen muy poco tiempo después de la entrevista entre los presidentes Ford y Giscard d'Estaign en la Martinica.

Entonces Francia no puede hacer otra cosa que exigir, ya en mayo de 1975, a Saint-Gobain T.N. la interrupción de toda relación con Paskistán, tomando como pretexto su negativa a firmar el acuerdo con la AIEA. Un año más tarde es firmado éste en Viena. Pero los Estados Unidos no parecen entenderlo así, ya que el 8 de agosto de 1976, Henry Kissinger insta a Ali Bhutto a romper las negociaciones con Francia, la pena de no recibir ninguna ayuda económica (mil millones de francos en 1976) ni apoyo militar (un centenar de aviones de ataque A7, por una suma de 2 500 millones de francos). Sin embargo, los Estados Unidos pronto atemperaron su posición sugiriendo «la puesta a punto de un control internacional de la futura instalación a imagen del que estadounidenses e iraníes están en curso de establecer». Este plan prevé la posibilidad de que los Estados Unidos puedan prohibir la construcción de una fábrica de reprocesamiento en Irán si ésta no satisface las normas de seguridad norteamericanas, lo que permite paliar especialmente el eventual peligro que ellos veían en el acuerdo franco-pakistaní: la posibilidad de una desviación hacia fines militares de una parte del plutonio reprocesado. Algunos meses después, Ali Bhutto, que aún no había cedido, fue derrocado por un golpe de estado militar, favorecido por los norteamericanos, según dijeron algunos. Sin embargo, el gobierno siguiente no cambió de línea. Los norteamericanos continuaron manteniendo su presión sobre los pakistaníes y los franceses. Es en esta época cuando se prohíbe el «Concorde» en Estados Unidos... Y progresivamente Francia intenta renegociar el contrato con el Pakistán. El 9 de setiembre de 1977, Louis de Gueringaud, ministro de Asuntos Exteriores, propone a su homólogo pakistaní Aga Shahi «estudiar modificaciones de los planes de la fábrica a fin de permitir el reprocesamiento mediante técnicas que no produzcan plutonio puro». El gobierno pakistaní lo rechaza; pero poco tiempo después, y algunos días antes de su llegada a París, el presidente Carter —satisfecho de la buena voluntad de que había dado prueba el presidente Giscard d'Estaign— envía a éste un télex notificándole la autorización para que el Concorde aterrice en Nueva York. Aunque no se dé ninguna información oficial sobre el tema, Francia se va liberando progresivamente de las obligaciones que la ligan con Pakistán. Sin embargo, hay que esperar hasta el 12 de julio de 1977 para que los dos últimos ingenieros franceses abandonen Chasma, donde continuaban los trabajos de construcción de la fábrica de reprocesamiento.

En esta época estalla el escándalo de Abdel Qader Khan, espía pakistaní. La historia se remonta a 1972, fecha en la que el ingeniero pakistaní Khan es empleado por el laboratorio de investigación FDO de Amsterdam. Este laboratorio trabaja en particular para URENCO, el consorcio holandés, inglés y alemán que construye en Almelo la fábrica de enriquecimiento isotópico por ultracentrifugación. Como la mayor parte de los doscientos técnicos y científicos del FDO, Qader Khan, después de haberse sometido a una investigación por parte de los servicios de seguridad holandeses, tiene acceso a toda una serie de documentos concernientes a la ultracentrifugación. Este investigador tiene la oportunidad de consultar numerosas obras «clasificadas» e incluso pasa un cierto tiempo en la fábrica ultrasecreta de Almelo. A finales de 1975 Khan abandona el país para instalarse definitivamente en Pakistán. Quizá Holanda no habría comunicado a nadie esta enojosa aventura si, en julio de 1978, un miembro del Parlamento Británico, Frank Allaun, no hubiera pedido cuen-



La central KANUPP de Karachi es una central CANDU, cuyo diseño está basado en la primera central nuclear del Canadá. Funciona desde principios de los años setenta.

2. Si verdaderamente se quisiera fabricar electricidad nuclear

■ El tipo de reactor que parece mejor adaptado para la producción de energía eléctrica es el canadiense CANDU. Estas centrales utilizan óxido de uranio natural, lo cual evita tener que recurrir a los servicios de enriquecimiento. Pueden cargar y descargar su combustible de forma continua, lo cual explica su elevada producción real de electricidad. Finalmente, son mucho menos uranívoras que las centrales de uranio enriquecido (debido a la presencia de agua pesada, indispensable para el funcionamiento de los CANDU). Es esta última característica la más importante para el desarrollo de una política de independencia energética a largo plazo. Así, mientras que las centrales de uranio enriquecido desarrolladas en Francia (centrales PWR pressurised water reactors) consumen 100 en uranio natural, las centrales CANDU solamente consumen 75. Si el uranio es débilmente enriquecido al 1,2 % (frente al 0,7 del uranio natural), los CANDU utilizan solamente 53 de uranio natural. Un país como Francia, que en la actualidad dispone oficialmente de 360 000 toneladas de uranio natural (120 000 toneladas de reservas adicionales explotables económicamente y 240 000 toneladas controladas en el extranjero) podría alimentar el programa nuclear previsto por el plan socialista[1] hasta el año 2050, sin reprocesamiento ni reciclado de plutonio. La utilización de estas 360 000 toneladas de uranio en centrales de agua pesada bajo la forma enriquecida al 1,2 % permitiría reducir el consumo actual en un factor de 2 y alimentar el mismo programa hasta el año 2110.

La producción de agua pesada precisa fábricas especializadas cuyo coste no es, sin embargo, tan elevado como el de las fábricas de enriquecimiento de uranio.

(1) «Energie: l'autre politique».

tas a su gobierno sobre la compañía Emerson Industrial Controls, pantalla de una compañía norteamericana especializada en la venta de elementos de base de la técnica de ultracentrifugación. Y así se descubrió que Emerson había vendido estos elementos a la compañía Weargate Ltd. con sede en el País de Gales, que las hacía llegar al Pakistán. Los dos tercios del capital de Weargate pertenecían a una pareja de pakistaníes, es entonces cuando aparece la conexión con la desaparición de Q. Khan, y el gobierno holandés no puede hacer otra cosa que anunciarlo a la luz pública.

Aquel verano, un informe oficial norteamericano anunciaba que el Pakistán estaba preparado para fabricar la bomba (fig. 6); incluso que se habían llevado a cabo negociaciones con la China para hacer en su territorio la primera explosión subterránea; otras fuentes como el *Financial Times* del 29 de abril de 1981, indicaban que el Pakistán ¡construiría un túnel cerca de la frontera afgana! Parece seguro, pues, que hoy este país tiene todos los conocimientos y los medios suficientes para fabricarla; y las dos vías, la del uranio y la del plutonio, le están abiertas. La del plutonio gracias a Francia, en particular. En enero de 1975 una nota de la CEA certificaba que el proyecto pakistaní estaba empezado, que Saint-Gobain T.N. estaba directamente implicada en él y que las pruebas de la fábrica con material radiactivo podrían iniciarse en junio de 1979. Pero los belgas también podrían estar comprometidos en esta historia, ya que en julio de 1975 con la ayuda de Belgo-Nucléaire se estaba instalando un taller piloto de reprocesamiento. El uranio irradiado que sería reprocesado procedería del reactor canadiense.

La vía del uranio pasa por Qader Khan, por Emerson, pero también por Nigeria. Era, en efecto, un golpe a tres bandas, Francia, Nigeria y Pakistán, e incluso cuatro, ya que también Libia estaría implicada, lo cual se descubrió en 1979 cuando se encontró vacío cerca de la frontera con Libia, un camión procedente de Nigeria que había transportado uranio. También, debido a los lazos existentes entre Libia y Pakistán, se sospechó que aquel uranio había sido desviado por Libia en provecho del Pakistán. Pero rápidamente se conoce, y de fuente oficial, que el uranio de las minas nigerianas de Arlit y Akouta, cuyo explotador principal es COGEMA, filial del CEA, es transportado en su mayor parte hacia Francia desde Cotonou, puerto de Benin, en Nigeria, pero también en una cantidad menor hacia Libia y Pakistán. Sólo faltaban las fábricas de enriquecimiento. Lo cual es cosa hecha, según el *Financial Times* del 14 de agosto de 1979, ya que según uno de sus corresponsales en Islamabad, en Kahuta, cerca de la capital, estaría instalada

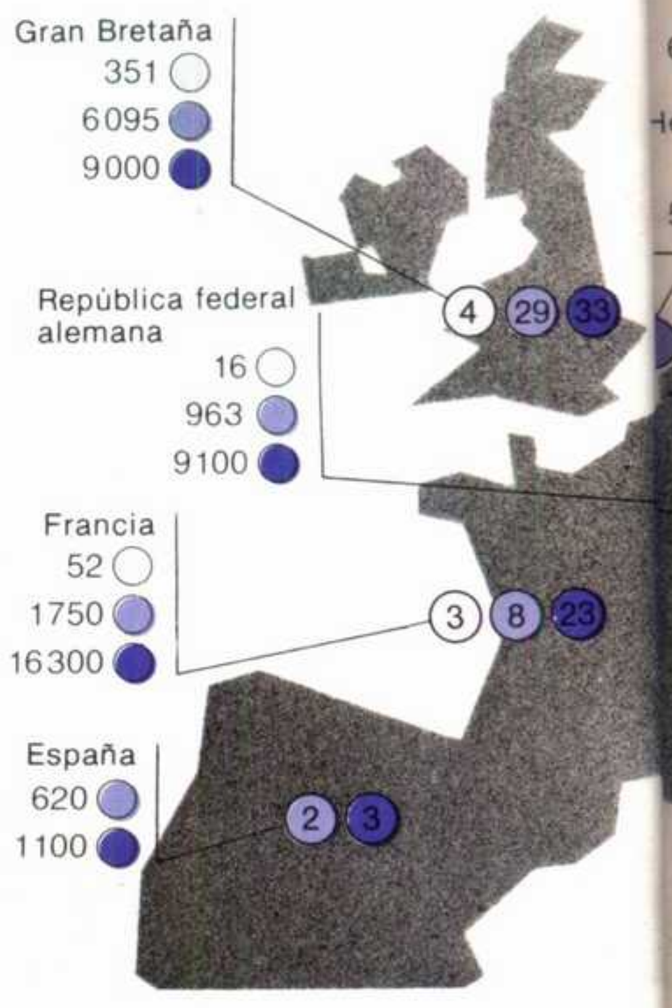
Una central y su primera carga de combustible son vendidas por término medio a razón de casi 900 millones de dólares. ¡Una bicoca para el país que se lleva el contrato!

una unidad de separación isotópica, y otra funcionaría ya en Sihala, en la carretera de Lahore.

Después del Pakistán, Corea del Sur y Taiwán

De la misma manera que el Pakistán puede sentirse amenazado por la India, Corea del Sur nunca se ha sentido segura al lado de Corea del Norte. Lo que ha sido una de las razones por la que a principios de 1972 empieza a negociar con Saint-Gobain T.N. la compra de una instalación piloto de reprocesamiento. Esta negociación finaliza a mediados de 1972 con el envío al CEA de un proyecto de acuerdo de cooperación para la construcción de una importante fábrica de reprocesamiento. A principios del año siguiente, las perspectivas de cooperación son extendidas a la fabricación de elementos combustibles. Sin embargo, esta cooperación es acompañada por la petición del ministro de Asuntos Exteriores francés de que el gobierno coreano se comprometa a poner estas instalaciones (reprocesamiento y fabricación del combustible) bajo el control de la AIEA.

Saint-Gobain T.N. y el Instituto de la Energía Atómica de Corea del Sur firmaron un contrato en 1973 por un valor de 30 millones de dólares; ulteriormente debía ser establecido el acuerdo Francia-Corea-AIEA sobre el problema del control. No hay muchos datos sobre los tratos que debieron seguir durante los dos años siguientes, pero súbitamente, en una entrevista publicada por el *Washington Post* el 12 de junio de 1975, el presidente sur-coreano, Park Chung Hee declaró que si le era retirada la protección del paraguas nuclear norteamericano, su país se dotaría de su propio armamento nuclear. «Tenemos los medios para ello» afirmaba. Las reacciones no se hicieron esperar y así el *New York Times* del 30 de octubre de 1975 indicaba que con la «decisión tomada por Francia de vender a Corea del Sur los materiales y la tecnología para la producción de plutonio militar, se había hecho franquear a la humanidad un gran paso hacia la proliferación mundial de armas nucleares. Si Corea del Sur se dota de armamento nuclear, Corea del Norte podría ser impulsada, sea a atacarla, sea a la adquisición ella misma de armas nucleares, lo cual podría incitar al Japón a hacer lo mismo». Según el *New York Times* de 1 de febrero de 1976, el gobierno norteamericano ejerció «presiones que rozaban la amenaza» sobre Corea del Sur, que finalmente decidió anular el contrato establecido con Saint-Gobain T.N. Durante este tiempo, Canadá firmó con Corea del Sur un acuerdo de venta de un reactor de uranio natural y agua pesada. En cuanto a las instalaciones piloto negociadas con Francia ¿estaban suficientemente avanzadas para que Seul pueda sacar provecho de ellas como afirmaba en 1975 el presidente surcoreano? Por el momento es difícil saberlo. Lo que es cierto es que Corea del Sur es un campo donde se enfrentan norteamericanos, canadienses y franceses para la exportación de tecnología nuclear «civil». Desde ya hace un cierto tiempo. la compañía norteamericana Westinghouse estaba presente en el mercado surcoreano, pero no es hasta agosto de 1979 cuando obtiene la primera venta importante de dos centrales nucleares de 1000 MW cada una. Para ello la banca norteamericana Eximbank aportó un importante apoyo a aquella firma financiando cerca del 85 % del coste de los equipamientos comprados a los Estados Unidos, así como el de diversos trabajos locales. Francia se toma la revancha un año más tarde, ya que la compañía Framatome obtuvo el pedido de dos centrales de igual capacidad (1000 MW). A este contrato se le añade la garantía por parte de Francia del suministro de uranio necesario para su funcionamiento durante diez años a partir de 1986 y de formar a ingenieros coreanos (algunos de ellos se encuentran actualmente en Framatome). Para exponer la historia de Taiwán, que será la última de este capítulo consagrado específicamente a las «historias con escándalo», existen pocos documentos que hayan pasado al dominio público. Esta historia se remonta a 1969, fecha en la que los Estados Unidos renunciaron a vender a Formosa la fábrica de reprocesamiento que les había encargado. Y no es hasta 1974 cuando el *Canard Enchainé* revela que Saint-Gobain T.N. ha reemprendido el proyecto, y que tanto ingenieros como material francés han llegado ya a Formosa. Un artículo de prensa que queda sin continuación hasta que un artículo del *Washington Post* del 8 de junio de 1976 señala la desaparición de diez barras de combustible, que contenían 500 gramos de plutonio, del reactor de investigación de Taiwán. Los inspectores de la AIEA, que se habían dado cuenta de ello, recibieron como respuesta que las barras habían sido transferidas a otro lugar. Tres meses más tarde, el mismo *Washington Post* anunciaba que desde hacía algún tiempo funcionaba en Formosa una pequeña fábrica de reprocesamiento del combustible irradiado procedente de los reactores de investigación y de las centrales energéticas de la isla. Este comunicado indicaba además que «más de 700 técnicos nucleares habían sido formados en los Estados Unidos y que, además, un científico había trabajado durante un año en



un centro norteamericano de Chicago estudiando los problemas del reprocesamiento». Tal como precisa la revista *Nuclelec* el 3 de setiembre siguiente, la información fue confirmada el 30 de agosto por una fuente oficial norteamericana. Fue mantenido un gran secreto en torno a este proyecto, en el que Francia parece haber desempeñado un papel de primer plano. Una prueba de ello puede ser la nota dirigida el 5 de febrero de 1973 al servicio científico del ministerio de Asuntos Exteriores, por B. Goldschmidt, director de relaciones internacionales del CEA. Éste, haciendo referencia a la acción ya iniciada después del suministro de un laboratorio de reprocesamiento, pensaba que sería una lástima que Francia no obtuviera sus frutos de ésta, tanto más cuanto que la industria alemana parecía interesarse vivamente en el proyecto. Esta advertencia seguía a los temores que había formulado, en la reunión de la AIEA del 15 de enero, el representante de Gran Bretaña Mr. Jackson, referentes a una eventual fábrica de reprocesamiento, sin citar, no obstante, ningún grupo industrial europeo: «no es cierto que puedan ser aplicados los controles adecuados a una fábrica como esta; la existencia de materiales nucleares no controlados en un país que experimenta grandes temores por su supervivencia independiente, presenta un grave riesgo de desviación a fines no pacíficos; sería útil que los estados capaces de suministrar esta instalación se pongan de acuerdo sobre un embargo».

Ni la presión moral que intentó ejer-

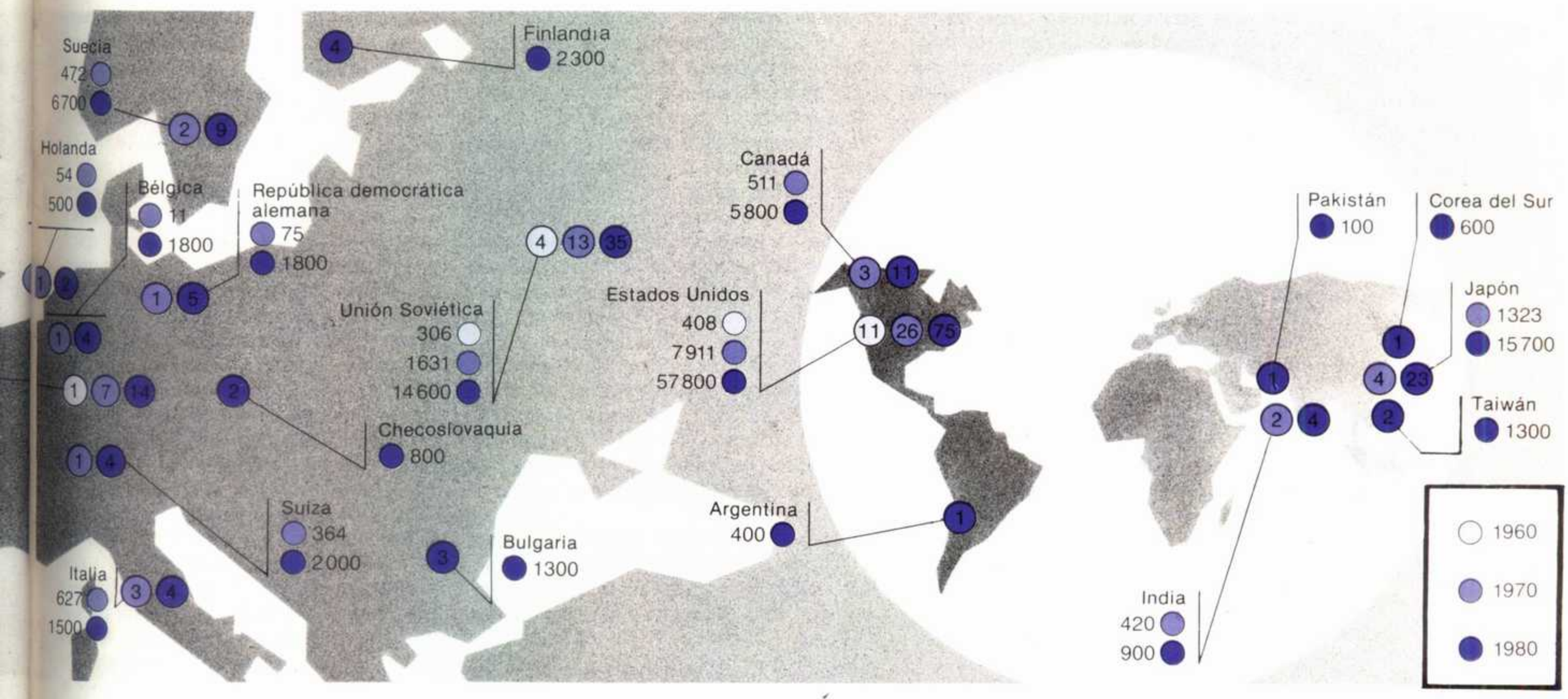


Figura 5. **Sobre este planisferio figura la potencia eléctrica mundial de origen nuclear, en MW brutos para los años 1960, 1970 y 1980. Cada vez se indica el número de unidades nucleares; una unidad puede reagrupar sobre un mismo emplazamiento varias centrales. Las cifras de los años 1960 y 1970 han sido tomadas del libro de la CFDT: *Le dossier électronucléaire* (Seuil, 1980); hacen referencia a la potencia eléctrica instalada. Los de 1980 proceden del Comisariado de la Energía Atómica (DPg/Banque de données ELECNUC.CEA/PDg) tienen también en cuenta las unidades que van a ser conectadas a la red de cada país.**

cer Gran Bretaña sobre los países europeos, ni la presión política realizada por los Estados Unidos sobre Formosa, impidieron que Taiwán se hiciera con su fábrica de reprocesamiento. A pesar de esta realidad, los Estados Unidos no interrumpieron sus relaciones con Formosa como lo resaltaba el *International Herald Tribune* el 26 de diciembre de 1978: «A nivel de la energía nuclear civil, Formosa y los Estados Unidos mantienen una estrecha cooperación.

Una central suministrada por los Estados Unidos ya está en marcha y otras cinco están encargadas o en construcción. Todo intento de «orientación estratégica» podría, según el contenido del Tratado de No Proliferación, poner fin a esta cooperación técnica, lo que no parecen desear las autoridades norteamericanas».

Es quizá esta última opinión la que explica el poco ruido que se ha hecho entorno a la muerte del inspector francés de la AIEA en servicio en Taiwán el 30 de noviembre de 1978. Pierre Noir, especialista en problemas del reprocesamiento, antiguo ingeniero en el taller piloto de Marcoule, murió —según las declaraciones oficiales— por electrocución, en el momento en que conectaba una cámara de televisión en una central. ¿Un accidente de trabajo realmente original? ¿o la complicidad del silencio que une de hecho a todos los países, vendedores o compradores, implicados en la competencia internacional? ¿Es probable que no lo sepamos nunca y quizá, como denuncia un documento de la CFDT dirigido a François Mitterrand acerca de determinados dossiers del CEA, que las pruebas de la investigación que debió llevar a cabo la AIEA sobre la muerte de su inspector ya hayan desaparecido?

Importantes negocios financieros

A priori es bastante sorprendente ver a Francia implicada en la mayor parte de los asuntos «proliferantes» de estos últimos años. ¿Por qué el Comisario de la Energía Atómica y Saint-Gobain T.N. han promovido, pues, la venta de fábricas de reprocesamiento al extranjero? El control en una fábrica de reprocesamiento no se puede ejercer de forma válida sobre la totalidad del plutonio, como veremos enseguida. Todos los países con experiencia industrial de reprocesamiento lo saben bien, y el 10 de agosto de 1976 a H. Kissinger no hizo falta recordárselo. A nivel comercial, la venta de una fábrica de reprocesamiento es poco importante en la escala de los contratos nucleares: algunos centenares de millones de francos por una fábrica de 100 toneladas anuales, por ejemplo, cuando el coste de una central nuclear se cifra en miles de millones. Por el contrario, un acuerdo de este tipo se concibe muy bien si se condiciona a la venta simultánea de centrales de gran potencia, como fue el caso del fabuloso contrato germano-brasileño. En efecto, en 1975 Alemania Federal firmaba un acuerdo con Brasil para la construcción de ocho centrales de uranio enriquecido de 1300 MW una fábrica de enriquecimiento de uranio, una fábrica de producción de combustible y una fábrica de reprocesamiento de combustible irradiado. Esta venta estaba estimada en aquella época en más de 50 000 millones de francos, repartidos entre diez o quince años. Sin embargo, a finales de 1979, la compañía brasileña Electrobras reevaluaba el potencial hidroeléctrico del Brasil, que aparecía como muy considerable. Paralelamente, en el curso de los tres años que habían pasado, el coste global de la tecnología nuclear se había multiplicado por tres y la energía nuclear se convertía en tres veces más cara que la hidroeléctrica. La nueva coyuntura comportó la oposición de científicos y responsables políticos y económicos brasileños. Esta oposición, añadida a la presión de Estados Unidos ejercida tanto sobre Brasil como sobre Alemania Federal, condujo de hecho al bloqueo del programa. Actualmente pa-

rece que serán solamente dos de las centrales nucleares del contrato original alemán las que se terminarán, Angra 2 y 3 ¡y aun así, incluso la segunda está en duda!.

Para el caso pakistaní han sido frecuentes las explicaciones aportadas. Francia, todo el mundo lo sabe, realiza unas cifras de negocio fabulosas en el Oriente Medio gracias a la venta de los aviones Dassault. Sin embargo, la exportación de aviones militares hacia estos países requiere, para el entrenamiento, de pilotos veteranos; y son, precisamente, pakistaníes los que aseguran la preparación de los pilotos árabes... ¿Podría ser que vendiendo una fábrica de reprocesamiento al Paskistán, Francia agradeciera a este país su eficaz colaboración? Pero esto no explica el caso de Formosa y de Corea del Sur.

En las distintas operaciones se pueden notar varias actitudes. La comercial, de Saint-Gobain T.N., que, apoyada por el grupo Saint-Gobain Pont-à-Mousson, utiliza para sus propios intereses las influencias que posee en la CEA y en los distintos ministerios; la de prestigio, del CEA que obtiene pocos beneficios en sus ventas y no informa al ministerio de Asuntos Exteriores de la imposibilidad práctica de controlar el plutonio en una fábrica de reprocesamiento; finalmente, la de los ministerios y en particular del de Asuntos Exteriores, del que podrían haber abusado tanto Saint-Gobain T.N. y el CEA. Si los Estados Unidos no hubieran intervenido en los asuntos franceses sería muy probable que Saint-Gobain T.N. hubiera continuado exportando fábricas de reprocesamiento sin que la opinión pública hubiera tenido conocimiento de ello. Sin embargo, la salida a la luz pública de estos contratos nucleares produjo un perjuicio importante a Saint-Gobain Pont-à-Mousson y al gobierno francés, y Saint-Gobain T.N. y fue abandonada por la sociedad madre y absorbida por la COGEMA, su principal cliente. En efecto un decreto del 7 de setiembre de 1977 autorizó a COGEMA la adquisición, con un límite de 13 millones de francos, del 60 % del capital de Saint-Gobain T.N. De esta manera nació SGTN: Société Générale pour les Techniques Nouvelles. COGEMA, compañía privada, adquiría de esta manera el dominio de la construcción de fábricas de reprocesamiento, cuya realización está estrechamente ligada a los contratos establecidos con los países europeos y el Japón.

Si de hecho no es fácil comprender el conjunto de razones que explican la actitud de Francia, nos podemos preguntar aun ¿por qué los países industriales han demostrado una tal pasividad en su actitud respecto de Francia, pero también en su propia política de exportación? Es sin duda una razón principalmente económica la que puede explicarnos este comportamiento. La venta de equipos nucleares se mueve entre sumas muy considerables: 4 mil millones de francos aproximadamente para una central de uranio enriquecido de 1000 MW y su primer carga. La competencia es encarnizada entre los distintos países exportadores. Estos países aceptan también acuerdos a veces poco interesantes económicamente en principio, y a veces peligrosos en cuanto a la proliferación, con la esperanza de acceder posteriormente a mercados importantes. Hay que considerar también lo que son simples trueques: un país vende petróleo y el otro vende nuclear, por ejemplo. Sin embargo, para parecer de acuerdo con la moral política ambiental, los exportadores de tecnología nuclear deben implantar controles aparentemente suficientes para no favorecer la proliferación de armas nucleares. Y para facilitar su relación con los países exportadores, los países importadores deben, en apariencia, suscribirla. Estos controles están hoy día simbolizados por la Agencia Internacional de la Energía Atómica.

Un instrumento internacional de vigilancia

La Agencia Internacional de la Energía Atómica (AIEA), cuya sede está en Viena, existe desde 1957. Según sus estatutos su objetivo es «acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica para la paz, la salud y la prosperidad en todo el mundo». Una de sus funciones principales es la de aplicar medidas que procuran garantizar que el equipo y las materias nucleares destinadas a fines pacíficos no sean desviadas a fines militares. Los estados interesados en ello establecen acuerdos con la AIEA, acuerdos que invariablemente se basan en un compromiso fundamental tomado por el estado, al que también corresponde probar que las instalaciones y el material nucleares no son utilizados para actividades contrarias al compromiso fundamental. ¿Pero, cómo probar técnicamente, de una manera convincente, que una acción no ha tenido o no va a tener lugar? En 1970 la Agencia fijó las garantías que actualmente se aplican en los diferentes estadios del ciclo del combustible. Aquel mismo año entraba en vigor el Tratado de No Proliferación de armas nucleares (TNP). Impulsado al principio por Estados Unidos, apoyados por Gran Bretaña y la Unión Soviética, que intentaban limitar el club de las potencias nucleares militares a los cinco primeros que realizaron explosiones, el TNP cuenta hoy con ciento catorce miembros. Sin embargo, de él están ausentes algunos estados importantes: así, además de Francia y la China, que siempre han rechazado la adhesión, hay que citar a Brasil, Argentina, India, Pakistán, Israel, África del Sur, España, Argelia y Arabia Saudita. Los estados signatarios se comprometen a que la energía nuclear no sea desviada de sus usos pacíficos hacia la fabricación de dispositivos explosivos nucleares. Además, los estados dotados de armas nucleares no deben ayudar a ningún país a procurarse alguna de ellas y los estados sin armas nucleares no deben adquirir o construir ninguna. Por otra parte, los estados establecen acuerdos con la AIEA para el control de toda industria nuclear civil. Paralelamente al TNP nació en 1975 el Club de Londres. Por iniciativa de los Estados Unidos reunió a los siete principales países exportadores[7] con el objetivo de coordinar su política de exportación de materias y equipos nucleares. Actualmente agrupa a quince países[7] y sus directrices recogen de una parte las reglas establecidas por el TNP, esto especialmente dirigido a Francia en lo que concierne al control de la AIEA, y de la otra, refuerzan las exigencias de control para las instalaciones llamadas sensibles (pricipalmente de enriquecimiento y reprocesamiento). La AIEA, que dispone actualmente de ciento cincuenta inspectores «internacionales», se ha convertido de esta manera en un instrumento técnico universal del que se han dotado los estados para no acelerar la escalada nuclear militar.

Las técnicas de la AIEA deben permitir un control riguroso de las materias nucleares de la instalación sometida a vigilancia. Se trata de verificar que las cantidades de uranio, plutonio y de los productos de fisión son exactamente los que corresponde al funcionamiento indicado de la instalación. El control puede recurrir a análisis destructivos: una toma de muestras permite verificar, por métodos fisicoquímicos, la conformidad del elemento. Este tipo de control es muy preciso, pero debe ser realizado en un laboratorio especializado: no puede ser realizado en la misma instalación. Por otra parte, los resultados no se obtienen hasta transcurridas varias semanas. Si la materia nuclear está encerrada dentro de un dispositivo o de una vaina nuclear, es imposible extraer una muestra. Entonces habrá que medir, por ejemplo, los rayos gamma emitidos por el plutonio o el uranio, mediante espectrometría. También es posible medir la emisión neutrónica por fisión espontánea, con la ayuda de un contador de coincidencia de alto flujo de neutrones. En el caso de un combustible irra-

(7) Los Estados Unidos, la Unión Soviética, Canadá, Gran Bretaña, República Federal Alemana, Francia y Japón, a los cuales se añadirán Polonia, República Democrática Alemana, Suiza, Checoslovaquia, Suecia, Bélgica, Holanda e Italia.

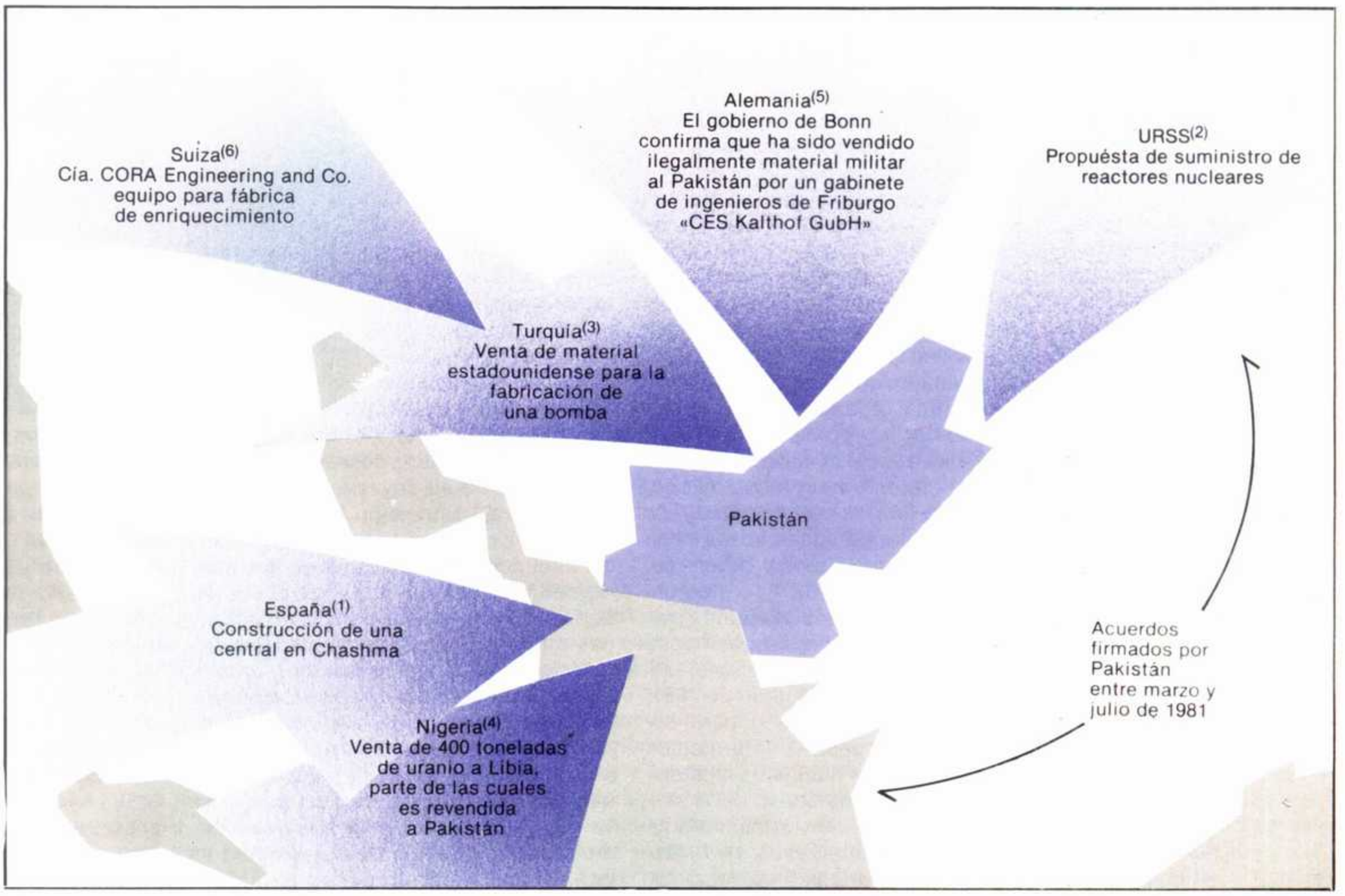


Figura 6. **Es a principios, de los años setenta cuando Pakistán firma su primer contrato nuclear. Desde entonces ha multiplicado sus acuerdos con numerosos países. Tal como se indica aquí, solamente el año pasado, Pakistán ha establecido acuerdos —conocidos oficialmente— con seis países distintos.** (1) AFP, 7 abril 1981. (2) *Financial Times*, 8 mayo 1981. (3) *Financial Times*, 19 junio 1981. (4) *Intern. Herald Trib.*, 11 abril 1981. (5) AFP, 15 julio 1981. (6) *Herald Tribune*, 20 marzo 1981.

diado, la observación visual de la luz azul emitida por éste por el efecto Tcherenkov, permite conocer su tiempo de residencia en el núcleo del reactor. La intensidad de la luz es proporcional a la irradiación del combustible, lo que permite controlar que éste no sea ficticio. Por último, se puede también verificar la integridad del sellado colocado previamente. Actualmente están en estudio unos sellos modernos, cuya verificación es posible mediante ensayo óptico, de ultrasonidos o electrónico. Los inspectores también pueden instalar cámaras que toman fotografías con intervalos de tiempo dados, por ejemplo cada diez o veinte minutos. Unas películas especiales, de gran capacidad (7 200 imágenes), permiten una vigilancia de cincuenta o cien días. Algunos estados exigen que la película sea revelada y estudiada en el miso país y a veces incluso en la misma instalación. Están en estudio cámaras de tipo polaroid, y técnicas más complejas, como el detector de movimiento, están en proceso de elaboración a fin de registrar definitivamente las «imágenes útiles» aumentando los intervalos de las fotografías. Finalmente un control a distancia, sistema «RECOVER», enlazado con la sede de la AIEA, permitiría una alarma inmediata en caso de fraude o de anomalías. Este sistema está en período de prueba en ocho países.(8)

(8) Australia, Austria, Bulgaria, Canadá, República Federal Alemana, Japón, Gran Bretaña y Estados Unidos.

La proliferación, tara inevitable de la energía nuclear civil

En los días que siguieron al bombardeo de Tamuz por los israelíes se elevaron muchas voces en contra de la ineficacia de los controles de la AIEA. Las críticas eran de distintos tipos. Primero de carácter técnico: ¿pueden ser rigurosos los controles? El objetivo del control es de «detectar rápidamente el desvío de importantes cantidades de materias nucleares de las actividades pacíficas hacia actividades militares». Se trata, pues, de cuantificar las materias nucleares. Sin embargo, según los mismos textos de la AIEA «dada la incertitud inherente a las medidas, en general hay una cierta diferencia entre la cantidad que "debería" estar presente y la que lo está en realidad». Además, «algunas partidas, como las pérdidas son de difícil medida». En las instalaciones de reprocesamiento, por ejemplo, los inspectores controlan la proporción de uranio y plutonio de las soluciones de nitrato de uranilo que entran en la fábrica después de la disolución del combustible y clarificación de las mismas. Miden, además, el peso del óxido de plutonio que sale. Pero no pueden medir la proporción de plutonio en la entrada, ya que necesitarían laboratorios específicos en la misma fábrica, lo que no se da. Así, ignoran la cantidad de plutonio que entra, lo cual queda a la discreción de los explotadores de la fábrica que realizan los análisis de entrada en sus propios laboratorios. Uno podría pensar que la cantidad de plutonio creado en un combustible conocido, irradiado en una central conocida, debería ser a priori perfectamente conocida. Sin embargo, no es este el caso; estas cantidades se evalúan a partir de códigos de cálculo imprecisos y el margen de incertidumbre sobre la cantidad de plutonio contenido en un combustible irradiado se puede situar entre el 20 y el 25 %. La concentración en plutonio no puede ser establecida pues con precisión hasta

El control de la AIEA se efectúa únicamente sobre las instalaciones para las que existen acuerdos específicos.

después de la disolución del combustible.[9] Este valor oculta nada menos que la fracción adherida a la vaina del combustible y la que queda en las partículas insolubles después del ataque nítrico (algunos %). Por otra parte, tanto en las fábricas de reprocesamiento como en las de enriquecimiento, una parte del plutonio en una como de uranio en la otra se deposita sobre las paredes de las instalaciones. De esta manera se producen pérdidas de plutonio y de uranio no cuantificables. En la fábrica de reprocesamiento d'Eurochemic, en Bélgica, por ejemplo, que además está controlada por una organización europea, Euratom, se declararon de forma oficial en 1976 unas pérdidas de 6,5 %. Las pérdidas de plutonio fueron aun mucho mayores en la fábrica de Windscale, en Gran Bretaña, donde llegan hasta casi el 8 %.[10] En un segundo orden de ideas, el control de la AIEA se efectúa únicamente sobre las instalaciones para las que existen acuerdos específicos. Así podemos destacar, por ejemplo, las declaraciones que el 9 de junio de 1981 hizo Sigvad Eklund, director general de la AIEA: «Según nuestras informaciones las instalaciones nucleares existentes en Irak son las siguientes: IRT 2000, reactor de investigación suministrado por la Unión Soviética; Tamuz I y II, suministrados por Francia, y un lugar de almacenamiento separado, para el uranio natural y el empobrecido». Ocho días más tarde, una nota de información interna del CEA indicaba que la compañía italiana Snia Technit estaba instalando en Irak desde 1978, unos laboratorios para el reprocesamiento de productos nucleares para el sector médico, químico e industrial. Otro ejemplo: de las cuatro centrales indias en explotación, solamente la de Tarapur puede recibir inspección internacional. Recientemente Nueva Delhi ha anunciado que la India no autorizará ninguna inspección internacional de su quinta central nuclear.[11] El senado norteamericano se rebeló especialmente contra el modo en que se efectúan estos controles, basándose en las declaraciones de un inspector norteamericano de la AIEA, Roger Ritcher, hechas el 19 de junio, después del bombardeo israelí sobre Tamuz, en opinión del cual un país tiene derecho a rechazar a un inspector si su nacionalidad no le conviene; así, afirmó que desde 1976, todas las inspecciones en Irak han sido efectuadas por húngaros y soviéticos. Por otra parte, tampoco es posible realizar ninguna inspección de improviso, se debe prevenir a los gobiernos, según los casos, con algunos días o algunas semanas de antelación y el inspector no puede penetrar en el país sin su visado.[12] En el caso de Irak, por ejemplo, Sigvad Eklund precisó que «la última inspección de garantías ha tenido lugar en enero de este año. Se debía haber efectuado una nueva inspección el 7 y 8 de junio, pero ha sido aplazada hasta finales de este mes a petición de las autoridades irakíes, ya que sus altos funcionarios competentes estarían en aquel momento en Viena».

Después del asunto irakí, los Estados Unidos han criticado violentamente a la AIEA; otros países, como Francia, por el contrario, según ha manifestado André Petit, estiman que la AIEA hace todo lo que está en sus manos para evitar la proliferación nuclear. ¿Sería suficiente pensar que el «lobby» antinuclear presente en el Senado, desde tiempos de Carter, junto el «lobby» pro-israelí basta para explicar la posición de los Estados Unidos?. ¿Y se podría pensar que Francia está convencida de que existen «cerrojos» técnicos para impedir el desvío de la energía nuclear pacífica hacia fines militares? Ciertamente no. Pero el juego de la dominación política y económica a escala mundial de ciertos países sobre otros, del Norte sobre el Sur, como se dice hoy día, se hace cada vez más complejo, y nadie sabe cómo detener la escalada de contradicciones. Son seis los países que hasta ahora han demostrado oficialmente que dominan el arma atómica; de otros dos se sospecha fundadamente que puedan tenerla, y varias decenas poseen el combustible para fabricarla. Por esta razón el 14 de julio pasado, Mr. Donnely, presidente de la «Energía Atómica del Canadá», podía declarar en Ottawa, delante de la comisión parlamentaria sobre las relaciones entre el Canadá y los países de América Latina: «Creo que Argentina tiene los conocimientos tecnológicos suficientes para poner a punto un arma nuclear». Hoy día, la estrategia política mundial reposa sobre la garantía ofrecida por los Estados Unidos y la Unión Soviética a los países que no tienen la bomba, de protegerles de sus vecinos y del resto del mundo con su paraguas atómico. Es la doctrina que ha hecho suya y que proclama a grandes voces Mr. Reagan, el nuevo presidente de los Estados Unidos. Pero, como para reconocer el poco realismo de este propósito, declara al mismo tiempo que cuantos más sean los países poseedores de la bomba atómica menor será el peligro de que ésta sea realmente utilizada. Por su parte, B. Goldschmidt, antiguo director de relaciones internacionales del CEA y antiguo gobernador adjunto de la AIEA, uno de los artífices de todos los negocios franceses de reprocesamiento, me ha dicho: «no se puede hacer más que retrasar el momento en que estallen nuevas bombas». B. Goldschmidt justifica así en cierto modo, la doctrina francesa de los años setenta, en cuanto a la exportación de la tecnología nuclear, y que se puede resumir admirablemente con esta frase de A. Giraud: «Es totalmente inmoral imaginar que la utilización de la energía nuclear en condiciones económicas aceptables pueda ser reservada solamente a los países industrializados».[13] La honradez querría que se añadiera, que solamente la venta al conjunto de países del mundo da la posibilidad de hacer aceptables las condiciones económicas de la energía nuclear. Pero no es el momento de contestar a A. Giraud. Sean cuales sean la realidad y las contradicciones flagrantes de los propósitos acordados, cada uno se agarra aun al espejismo de un instrumento técnico y político con el que se puede evitar que «la cooperación internacional sea desviada de su objeto».[13]

Este instrumento, la AIEA, sobrevivirá mientras los países del Sur sean dependientes de los países del Norte para la transformación de las materias nucleares y para la misma tecnología. Para muchos países aceptar las condiciones de la AIEA es aún la única manera de adquirir el dominio de la tecnología nuclear. Pero ya algunos de ellos se organizan. Los países árabes se reunieron el junio pasado en Damasco para su primera conferencia sobre energía nuclear. Brasil ha establecido acuerdos con Irak; Nigeria con Pakistán. África del Sur exporta uranio a Taiwán y a Israel; Israel asesora a Taiwán para el desarrollo de un cohete capaz de llevar armas nucleares; Taiwán e Israel trabajan en el enriquecimiento de uranio en África del Sur,[14] etcétera.

Mientras tanto el Senado estadounidense deplora «la ausencia de un consenso a nivel mundial sobre controles efectivos concernientes a las transferencias de tecnologías nucleares y sobre las medidas que permitan evitar la mala utilización de esta tecnología». Desea que «los Estados Unidos adopten una firme posición de liderazgo, endureciendo sus acuerdos de exportación, previendo sanciones para aquellos que violen los acuerdos, y precisando la voluntad norteamericana de establecer un nuevo régimen nuclear internacional».[15] Es en este sentido que el senador John Glenn escribió al presidente Reagan el pasado mes de junio. Pero el 4 de setiembre, el *Financial Times* indicaba que no solamente el gobierno norteamericano no impondría más restricciones al Japón por lo que hace al reprocesamiento de sus combustibles irradiados en Tokaï-Mura sino que, además, le autorizaría a construir una segunda fábrica de una capacidad de 1 200 toneladas anuales. ¿Es pesimismo pensar que nada puede parar la proliferación? No, es simplemente realismo. ■

(9) Alf Larsson, AIEA, vol. 17, n.º 2, abril 1975.
(10) *Le dossier électronucléaire de la CFTD*, Seuil, 1980, p. 240.
(11) Inter-Info del CEA, n.º 101, 1 agosto 1981.
(12) En lo que concierne a las relaciones Francia-Irak, el visado no es concedido más que previa presentación de un certificado de bautismo.
(13) Entrevista con André Giraud, RGN, 226, n.º 4, julio-agosto-setiembre 1977.
(14) *Herald Tribune*, junio 1981.
(15) Hearings au Senat del 24 de junio de 1981.

Automóviles: carrera para economizar gasolina

■ Dos constructores de automóviles, Peugeot y Renault, han presentado, a principios de abril el primero y en junio el segundo, dos vehículos experimentales que permiten economizar del 30 al 35% de gasolina en comparación con automóviles de serie, de tamaño y habitabilidad comparables. Bautizados respectivamente VERA y EVE (fig. 1) —VERA por Vehículo Económico de Investigación Aplicada y EVE por Elementos para un Vehículo Económico— estos vehículos han sido realizados gracias a la ayuda económica de la Agencia para el ahorro de energía, y encuadrados dentro de un programa, lanzado a principios del año 1979, con un presupuesto aproximado de 28 millones de francos franceses, de los cuales el 50% fueron financiados por la Agencia.

La comparación de soluciones técnicas elegidas por cada uno de los fabricantes con el fin de respetar el pliego de condiciones —una economía mínima del 25% respecto al Peugeot 305 y al Renault 18, coches llamados de escala media— provee un panorama bastante completo de los métodos que podrían ponerse en práctica para reducir el consumo de gasolina. Algunos de estos métodos son más económicos que otros, y los futuros vehículos de serie en Francia aprovecharán probablemente las soluciones menos costosas durante el primer período.

Dos caminos diferentes

Los fabricantes de automóviles disponen de una vasta gama de soluciones para reducir el consumo en los vehículos de gasolina, a la vez que tratan de conservar su nivel de resultados y prestaciones. Se puede reducir el coeficiente de penetración en el aire, llamado coeficiente SCx, siendo S la superficie frontal del vehículo y Cx el coeficiente aerodinámico (véase tabla), pero con el riesgo de limitar también en parte la habitabilidad del vehículo. Existen dos caminos posibles: buscar una forma aerodinámica pura o agregar un cierto número de mejoras en los detalles (parachoques, alas envolventes, parabrisas redondeados, «spoilers», «becquets», etc.). También se puede reducir la masa del vehículo, conservando e incluso mejorando las dimensiones interiores del habitáculo y las cualidades iniciales de seguridad activa y pasiva. Esta reducción de peso puede ser el resultado de emplear nuevos materiales tales como plásticos, materiales compuestos o aleaciones ligeras. Por otra parte, es posible reducir el coeficiente de rodadura de los neumáticos, aumentando la presión de éstos. Por fin, se puede obrar sobre las transmisiones para disminuir los regímenes de rotación del motor. En efecto, un motor que funciona en regímenes de rotación elevados consume más que en regímenes moderados. En general, para una potencia dada, el consumo es menor cuanto más débil es el régimen de rotación. Sin embargo, si alargamos las relaciones de transmisión, el comportamiento se degrada por el hecho de que en régimen bajo el par-motor es, generalmente, débil. La utilización del microprocesador a bordo del vehículo permite adaptar permanentemente las relaciones de transmisión a la potencia requerida por el conductor cuando pisa el pedal acelerador. La última aproximación consiste en mejorar el rendimiento del motor; éste es, hace años, el objeto de esfuerzos constantes y continuos por parte de los constructores. Pero los progresos son lentos en dicho campo. Esta solución puede obtenerse de diversas formas: aumento de la relación de compresión, disminución de rozamientos y de las pérdidas térmicas, mejora de la combustión...

Renault y Peugeot han utilizado el conjunto de estas posibilidades poniendo el esfuerzo máximo sobre una solución aerodinámica en el caso de Renault o aligerando el peso en el caso de Peugeot. El objetivo de Renault era llegar a reducir al máximo el coeficiente de resistencia del vehículo, rediseñando enteramente la carrocería y manteniendo la habitabilidad clásica de un vehículo para cuatro o cinco personas, mientras el objetivo de Peugeot ha sido mejorar este mismo coeficiente conservando la carrocería existente del 305 y añadiéndole diversos dispositivos y carenas frontales y en las ruedas.

Comparados con sus modelos de referencia, cuyo coeficiente aerodinámico Cx es de 0,44 para el 305 y 0,39 para el R-18, Renault ha conseguido la considerable ganancia del 38,7 % y Peugeot una ganancia muy significativa del 27,7%. La reducción del Cx se consigue esencialmente actuando sobre las formas exteriores del vehículo y secundariamente sobre el flujo interno del aire necesario para la refrigeración del gru-

	modelo de base R-18 TL/GTL	EVE	ganancia (en %)	modelo de base 305 GL	VERA	ganancia (en %)
AERODINAMICA						
Cx	0,39	0,239	38,7	0,44	0,318	27,7
SCx	0,728	0,466	36,9	0,78	0,566	27,4
PESO masa (kg)	920	845	8,1	925	740	20
CONSUMO						
a 90 km/h	6,3	4,1	35	6,5	4,2	35,4
a 120 km/h	8,4	5,5	35	9,1	5,6	38,5
en ciudad	9,4	6,6	30	9,5	6,3	33,7
promedio	8,0	5,4	33	8,4	5,4	35,7

Tabla que permite comparar las ventajas del EVE y VERA con respecto a los vehiculos de referencia y, a la vez, comparar estos vehiculos experimentales uno con respecto al otro. Para fijar ideas, el minimo valor Cx más allá del cual será difícil llegar es del orden de 0,15. Para un vehiculo europeo medio, Cx es aproximadamente igual a 0,42.

VERA y EVE, dos vehículos experimentales realizados por Peugeot y Renault para economizar, por lo menos, un 25% de energía.

EVE, el coche de Renault, o más prosaicamente Elementos para un Vehiculo Económico, ha sido enteramente diseñado mediante estudios en el túnel aerodinámico y es comparable en tamaño y habitabilidad al R-18. VERA, o Vehiculo Económico de Investigación (Recherche) Aplicada, ha sido elaborado por Peugeot mediante arreglos sucesivos a partir del P-305. Ambos vehículos permiten una economía de gasolina superior al 25%, en relación con su vehiculo de referencia. (Fotos Renault Presse y Peugeot Presse.)

po motopropulsor y confort de los pasajeros. A 120 km/h, la resistencia del aire, proporcional al cuadrado de la velocidad, representa las tres cuartas partes de la resistencia total al avance. La ganancia en Cx a grandes velocidades, permite que las reducciones de consumo sean más claras. La forma pura de la carroceria del vehiculo EVE ha sido progresivamente establecida gracias a estudios aerodinámicos sobre una maqueta a escala reducida y luego sobre una maqueta de tamaño real. El vehículo terminado tiene una forma caracterizada por la variación continua de su sección transversal, y su Cx varía lentamente cuando crece la incidencia del viento lateral.

Por otra parte, Renault ha elegido un sistema de transmisión aún en vías de industrialización —una transmisión continua realizada por la sociedad holandesa Van Doorne's Transmissie BV. Sin tratar de forzar al máximo el rendimiento del motor, ha estudiado también un sistema de mando electrónico para el conjunto del grupo motopropulsor: si el conductor dispone de dos pedales, un acelerador y un freno, el acelerador ya no está ligado mecánicamente a la mariposa del carburador sino que un potenciómetro solidario al pedal del acelerador envia una tensión variable al microprocesador. Esta tensión es interpretada como potencia pedida por el conductor, la cual ha de ser provista

por el motor. En la memoria del microprocesador se encuentra la tabla de correspondencias entre potencia y velocidad de rotación óptima. El microprocesador determina la relación de transmisión a establecer, la cual es enviada a un accionador eléctrico unido a las transmisiones. Simultáneamente, utilizando una segunda tabla de correspondencias contenida en su memoria, el microprocesador determina la apertura que ha de darse a la mariposa del carburador. Este sistema, que minimiza permanentemente el consumo de gasolina, es también aplicable a una transmisión de relaciones discretas (caja de velocidades manual o automática). Sin embargo, la ventaja de la transmisión continua del EVE consiste en sus cambios de marcha sin golpes, variando continuamente. Así, la transmisión se utiliza como adaptador de régimen. La ventaja, comparando con una conducción manual, se hace evidente en ciudad, donde la búsqueda de una economía máxima requeriría frecuentes cambios de marcha por parte del conductor.

En el VERA, por el contrario, los sistemas electrónicos de a bordo dirigen solamente el encendido. El proceso cartográfico Peugeot consiste en tener en cuenta el avance óptimo de encendido, determinado en el banco de ensayos para cada una de las condiciones de funcionamiento del motor. El sistema selecciona en cada instante el grado de avance en función de la potencia requerida y el número de revoluciones. Peugeot ha buscado aumentar el rendimiento del motor. El motor utilizado es el del 104 GR asociado a una caja de cinco velocidades cuyas marchas han sido alargadas. El alargamiento de dichas marchas permite al motor girar a menos revoluciones para una misma potencia requerida y, así, consumir menos.

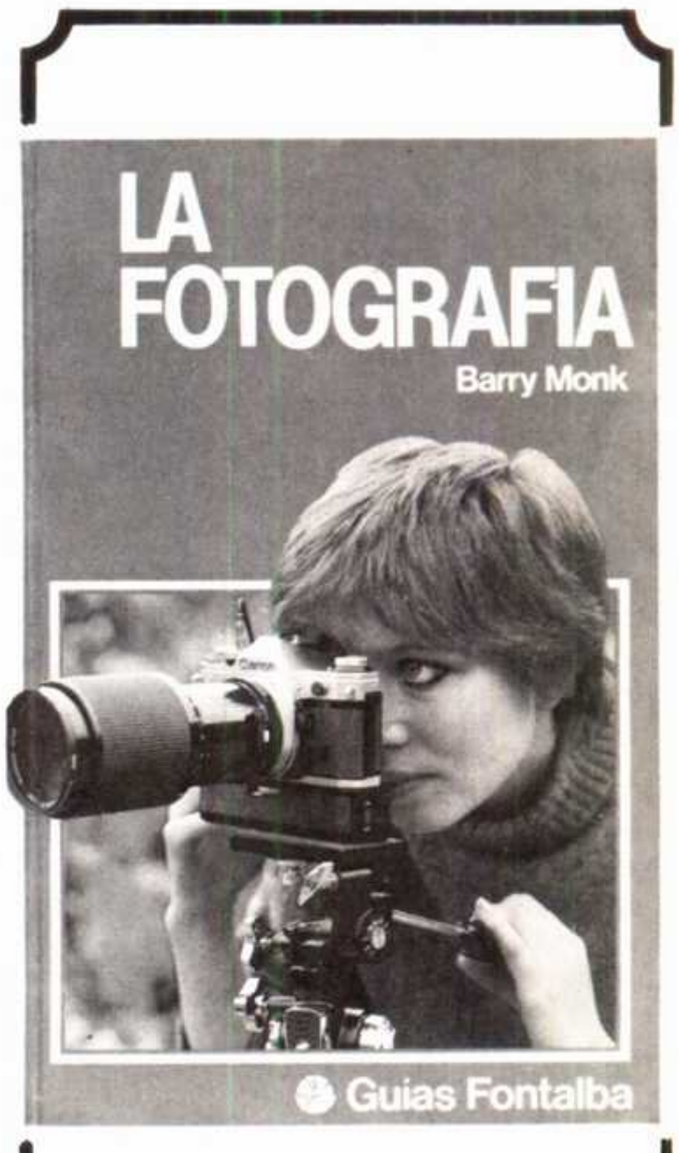
El tercer elemento a tener en cuenta para reducir el consumo es la disminución de paso. Renault se ha limitado a un alivio de peso de 75 kg, coherente con la mejora del Cx y la gestión optimizada del grupo motopropulsor, basado en la utilización de técnicas de costo razonable y transferibles a vehículos de serie (aluminio, plástico inyectado, vidrio). Para Peugeot este alivio es fundamental y ha logrado ganar 185 kg, es decir, 20% comparando con el 305. Estas pérdidas de peso se han obtenido utilizando sobre todo materiales plásticos para las partes móviles: elementos de caja (bloque delantero, basamento, lados de caja) en plancha de acero de elevado límite de elasticidad, portezuela y capot en poliéster armado con fibra de vidrio, portezuela derecha en aluminio. En toda la carrocería se ganan 53 kg, a los que se han de añadir 25 kg ganados en equipamientos (asientos en polipropileno reforzado con fibra de vidrio, cristales más delgados, policarbonatos para los proyectores, etc.). El resto del alivio se reparte entre el motor, la caja y los accesorios (34 kg), la transmisión y los ejes delantero y trasero (45 kg), los elementos mecánicos y las ruedas (23 kg), y la batería (5 kg). Este alivio de peso es interesante para reducir el consumo en ciudad, pero llevarla a tal extremo significa la utilización de materiales y técnicas bastante costosos y difíciles de transferir a vehículos de serie.

¿Para cuándo el coche de serie?

Estos dos proyectos, EVE y VERA, no son más que la primera etapa que proseguirá con los programas EVE+ y VERA+. EVE+ permitirá experimentar un motor diesel de inyección directa, recuperar una parte de la energía de frenado almacenándola bajo forma oleoneumática y dirigir electrónicamente una caja automática de velocidades discretas. Paralelamente a estos dos vehículos de investigación, ambos fabricantes, en 1980, y bajo el impulso del Ministerio de Industria, han iniciado un estudio sobre vehículos utilitarios (tipo R-5). VESTA en el caso de Renault y ECO 2000 en el caso de Peugeot, cuyo consumo medio debería situarse alrededor de los 3 litros cada 100 km. En tanto que EVE y VERA no sean vehículos optimizados y destinados a la producción en serie sino vehículos de investigación que permiten estudiar soluciones concretas para reducir el consumo de carburante, VESTA y ECO 2000 deberían desembocar, alrededor de 1987-1990, en la industrialización de vehículos muy económicos. Un fuerte constreñimiento se añadirá a la reducción de consumo: producir vehículos de coste competitivo a nivel internacional.

Pero los vehículos del próximo decenio no sólo tendrán que consumir menos gasolina sino que habrán de mejorar en muchos otros aspectos, como en la emisión de sustancias contaminantes, ruido, seguridad, reciclaje... Y, precisamente, es un programa de este tipo, el que, con la interesante suma de 110 millones de marcos, ha lanzado el Ministerio de Investigación y Tecnología en Alemania (Bundesministerium für Forschung und Technologie). Iniciado el 1978, debería conducir a finales de este año al ensayo —especialmente Volkswagen— de vehículos de cuatro plazas de tamaño comparable al del R-18, habiendo satisfecho una mejora del 30% en cada uno de los parámetros citados, incluido el ahorro de gasolina. Este programa debería finalizar el último trimestre de 1982.

Marie Bulher.



La Guía Fontalba **LA FOTOGRAFIA** constituye un libro de gran utilidad, no sólo para el principiante, sino para el ya iniciado en el mundo fotográfico. Abarca y enseña desde los primeros rudimentos hasta las técnicas y procesos más depurados de la cámara y el laboratorio. Es un poderoso auxiliar científico para uso del etólogo, biólogo, naturalista, etc., así como para cualquier investigador que precise ilustraciones fidedignas en sus trabajos.

Este libro ayudará a sacar al lector el mayor partido posible, ya sea con una cámara y un laboratorio simples o mediante éstos u otros medios más sofisticados.

Formato: 13,5 × 20 cm
Páginas: 128 en cartoné
Fotografías e ilustraciones a todo color

P.V.P.: 725 pts.

Pídalo a su librero o contrarreembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.

VALENCIA, 359 · 6.º 1.ª
BARCELONA-9 (ESPAÑA)

Informaciones y noticias

5º Congreso de Informática y Automática

Organizado por la Asociación Española de Informática y Automática, se celebrará en Madrid, del 4 al 6 de mayo de 1982 el 5º Congreso de Informática y Automática, en el que está previsto que se desarrollen los siguientes temas:

1) Teoría del control
2) Teoría de sistemas y cibernética
3) Componentes en control e instrumentación
4) Aplicaciones de la automática
5) Informática teórica
6) Aplicaciones de la informática
7) Logical de base
8) Métodos y técnicas de programación
9) Organización y arquitectura de sistemas informáticos
10) Sistemas basados en mini y microcomputadores
11) Teoría de la conmutación y diseño lógico
12) Teleinformática
13) Procesamiento digital de señales
14) Inteligencia artificial

Para más información, dirigirse a la Secretaría general del congreso: Asociación española de Informática y Automática. Fac. de Ciencias Fisicas - Ciudad Universitaria. Madrid-3.

Comisión sobre Registro Nacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos CRNPQPT/AET

En el seno de la Asociación Española de Toxicología se ha constituido la Comisión sobre Registro Nacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos, presidida por el Dr. E. Laborda e integrada por los Dres. A. Borregón; A. García Lorente; D. Marcuello; A. Mariné; M. Menéndez; E. de la Peña (Secretario); M. Repetto y F. Sanz. La misma se ocupará de la evaluación crítica y objetiva de los riesgos que presentan los productos químicos. Secretaría: c/. Serrano, 115, dpdo. Madrid-6.

Presentación en el Museu de la Ciència del «Diccionario de Términos Científicos y Técnicos» McGRAW-HILL-BOIXAREU

Ha sido presentado en Barcelona, como primicia para el mundo de habla hispana, el «DICCIONARIO DE TÉRMINOS CIENTÍFICOS Y TÉCNICOS» McGraw-Hill-Boixareu, editado por Marcombo, S.A.

Al acto celebrado en el Museu de la Ciència, asistieron destacadas personalidades del mundo universitario, de la ciencia y de la cultura en general. Entre las numerosas personas asistentes había también muchos libreros y profesionales relacionados con el mundo del libro.

Abrió el acto D. José Ruiz Kaiser, Director General Adjunto de la Caja de Pensiones, entidad promotora del Museu de la Ciència, quien dio la bienvenida a las numerosas personas asistentes y cedió la palabra a los oradores.

En nombre de la editorial Marcombo, S.A. habló D. Josep Maria Boixareu Vilaplana, quien agradeció el apoyo recibido de los sectores Universitarios y profesionales en el trabajo propiamente científico y al equipo de producción de la propia editorial por el esfuerzo humano que ha representado la edición en un tiempo récord. Se refirió al papel del editor como promotor de la cultura y en concreto de la gran proyección universal de la industria editorial catalana.

Recordó que esta obra, en cinco volúmenes, comprende más de cien mil términos, con su correspondiente definición, clasificación temática y traducción español-inglés e inglés-español. Abarca más de cien materias desde las Matemáticas a las Ingenierías y desde la Biología a la Medicina, pasando por materias como la oceanografía, ecología, geología, zoología, etc.

El Dr. Gabriel Ferraté, Rector de la Universidad Politécnica de Barcelona y Director de la versión española de esta gran obra científica y editorial, hizo un repaso de la labor realizada durante los cuatro años de preparación de esta edición en la que han colaborado más de treinta prestigiosos especialistas provenientes de los ámbitos de la Universidad, de la investigación y de la práctica profesional.

Glosó asimismo, la transcendencia de una obra de este tipo que viene a satisfacer una perentoria necesidad que existía no solamente entre los técnicos y científicos de habla española, sino entre todas aquellas personas relacionadas habitualmente con el lenguaje técnico-científico. Esta obra representa una aportación inestimable a nuestro desarrollo científico, tecnológico y cultural.

El Dr. Casassas Presidente del Consell Científic i Tecnológic de la C.I.R.T. de la Generalitat de Catalunya glosó en profundidad el concepto de Ciencia y pasó a analizar la utilidad de la obra presentada en dos aspectos: su gran amplitud temática y la precisión con que están definidos cada uno de sus términos. Para el Dr. Casassas el DICCIONARIO McGraw-Hill-Boixareu, sin ser enciclopédico, ha conseguido ser una herramienta de consulta permanente en el que puede encontrarse casi todo lo que se refiere a la terminología técnico-científica.

Cerró el acto el Jefe del Servicio del Libro de la Generalitat D. Josep M. Puigjaner, quien ostentaba la representación del Conseller de Cultura Honorable Sr. Max Cahner.

El Sr. Puigjaner ponderó la gran aportación que para la ciencia representa la publicación de una obra de tal envergadura y felicitó a todos cuantos han colaborado en la edición de la misma por su labor. Manifestó la esperanza de que algún día una obra de este tipo pudiera ser publicada en catalán por cuanto representaría de soporte al proceso de normalización de nuestra cultura. Acabó reiterando el hecho de que la Conselleria de Cultura lo es tanto para la edición en catalán como en castellano y deseó un gran éxito para la difusión de la obra presentada.

El eclipse total del Sol del 31 de julio de 1981

Un equipo compuesto por una decena de científicos y técnicos del CNRS, del Instituto de Astrofísica de París y del LAS de Marsella llevó a cabo una misión de más de tres semanas en el Kazakistán soviético con el propósito de estudiar la corona solar con ocasión del eclipse total de Sol del 31 de julio de 1981. El lugar elegido estaba localizado cerca de la pequeña villa de Shortandi, en la antigua provincia de Akmolinsk. Numerosos experimentos habían sido preparados con un equipo especialmente concebido a este efecto.

La misión francesa, que trabajó en colaboración con una misión soviética con la que habían establecido un acuerdo de cooperación, se instaló a menos de un kilómetro de la línea de centralidad (en el terreno de una explotación agrícola experimental). Los científicos gozaron de la atenta ayuda de las autoridades locales y también de unas condiciones meteorológicas casi ideales durante toda su estancia. Fueron numerosos los experimentos realizados y cabe señalar con éxito que la corona solar se mostró particularmente rica en materia protuberante en esta fase descendente de su ciclo de actividad, en especial en la vecindad del polo sur del disco, donde fenómenos de interacción del plasma de la corona-materia fría han podido ser registrados por primera vez. Por otra parte, numerosas medidas extremadamente delicadas con aparatos muy complejos equipados con interferómetros Pérot-Fabry y cámaras de TV ultrasensibles, con tubo Isocon de 42 mm habían de permitir el estudio del campo de velocidad y magnético coronales en el instante del eclipse, experiencia intentada y lograda por primera vez, y cuyos resultados serán analizados con sumo interés con la esperanza de descubrir los mecanismos de reposición y calentamiento de esta atmósfera tan extensa frecuentada por la corona solar. *Mundo Científico* volverá a tratar este tema. En la fotografía de gran campo se puede ver una región del cielo durante el eclipse total del Sol del 31 de julio. El

horizonte aparece iluminado por la luz de la cronósfera, que permite el paso del disco lunar y que se refleja en las capas de la atmósfera terrestre situadas fuera de los límites de la sombra de la luna. En el original se distingue claramente el alargamiento de la corona solar externa producido por difusión en el polvo interplanetario. (Foto de la misión del Instituto de Astrofísica del CNRS en el Kazakistán soviético, S. Koutchmy.)

Un microenzima artificial

Con el tiempo, las proteínas que se fijan al ADN, el soporte universal de la herencia, han adquirido importancia creciente. Estas proteínas controlan la actividad de ciertos genes, destruyen el ADN extraño (de virus, bacterias, etc.), reparan el propio, donde ha sido dañado, etc. Una ingeniería, en fin, muy diversificada y bastante problemática; de una parte, porque los lugares reconocidos sobre el ADN son relativamente «monótonos» (el ADN es una repetición de cuatro componentes elementales, las cuatro bases nucleicas), y de la otra, porque el mínimo error (por ejemplo en un mecanismo de reparación) tiene consecuencias desastrosas para las células. Desde hace unos años, el grupo de C. Hélène, en Orleans, y luego en el Museo de Historia Natural de París, se interesa en la intervención de péptidos artificiales con el ADN. Uno de estos péptidos, constituido por el encadenamiento lisina-triptófano-lisina, se fija sobre aquél (probablemente por medio del triptófano), en particular donde se han producido determinadas lesiones. No contento con fijarse ahí, este pequeño péptido, verdadero enzima artificial, interrumpe a este nivel la secuencia del ADN (T. Behmoaras y otros, *Nature 292,* 858, 1981). Estos cortes específicos en lugares precisos recuerdan la actividad de un enzima de reparación esencial (las AP-endonucleasas, *La Recherche,* n.° 124, julio 1981). Así , este tripéptido podría constituir un excelente sistema modelo para comprender los mecanismos íntimos de la reparación del ADN.

La visión de los colores en la tortuga

Los más de los textos de enseñanza señalan que la retina de los vertebrados se compone de un mosaico de receptores de luz independiente entre sí. Sin embargo, en el curso de los últimos años se ha hecho cada vez más claro que este postulado merece revisión: los receptores se comunican unos con otros gracias a una red de interacciones transversales, de forma que una señal luminosa percibida por una célula se transmite de alguna forma (activación o inhibición de actividad) a las vecinas por medio de células especializadas (las células horizontales sensibles a la luminosidad, L-HC). En la tortuga se conocen dos tipos de estas células desde 1973, sin que se sepa realmente sus funciones respectivas. El equipo de H. Gerschenfeld en París (J. Neyton y otros, *Proc. Nat. Acad. Sci. 78,* 4616, 1981) acaba de informar que las células L-HC, probables responsables de efectos de proximidad, lo son efectivamente de la inhibición de las células sensibles al verde en presencia de un estímulo específico de las células sensibles al rojo. De forma más general, esta clase de resultados ilustra la importancia de los microcircuitos locales en la elaboración de la señal nerviosa.

Viejos hogares alsacianos de 400 000 años

Un equipo de arqueólogos dirigido por André Thévenin, director de las Antigüedades Prehistóricas de Alsacia y Lorena, ha descubierto hogares que datan de la interglaciación Mindel-Riss, es decir de 400 000 años aproximadamente.

Este descubrimiento efectuado en una explotación de loess en Achenheim (Bajo-Rin) aporta nuevos elementos a nuestro conocimiento del Paleolítico Inferior. Se trata de hogares que figuran entre los más primitivos y mejor datados de Europa. Recordemos que las más antiguas trazas de fuego conocidas se encontraron en la cueva de «L'Escale» en Saint-Estève-Janson (Bouches-du-Rhône), en Terra-Amata (Niza) y en Vertesszöllös en Hungría. Los hogares de Achenheim, un poco más recientes, podrían ser contemporáneos de los de la cueva del Masdes-Caves de Lunel-Viel en Hérault.

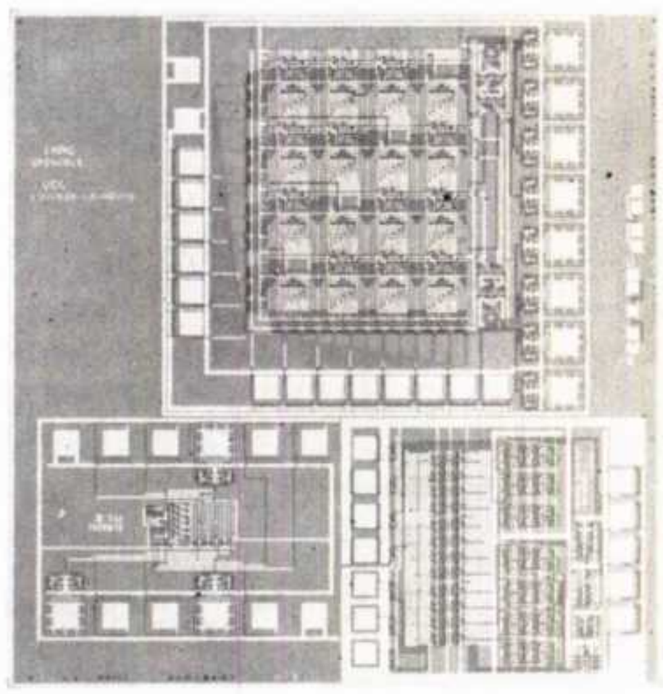
Las áreas de combustión descubiertas en Achenheim corresponden a zonas de arcilla muy rubefacta, de 5 a 10 cm de espesor: los hogares estaban directamente en el suelo. Algunos vestigios de industria, pequeños guijarros de cuarzo en forma de lascas, etc. han sido encontrados en las proximidades junto con restos de fauna varia y de carbones de madera. Estos elementos permitirán utilizar todas las técnicas a disposición de los prehistoriadores (paleomagnetismo, racemización de los ácidos aminados, termoluminiscencia, etc.) para la datación de estos hogares y, así, pogresar en nuestro conocimiento del medio en torno a los ocupantes del lugar, *Homo Erectus* o anteneandertalianos cuyos restos todavía no hallados, habrán de aparecer sin duda en los rellanos de un talud que domina los aguarales y arroyos que les proveían de sustento.

¿Para cuándo los hilos eléctricos de plástico?

Uno de los temas candentes en el vigesimoséptimo simposio internacional sobre macromoléculas, celebrado en Estrasburgo el pasado julio, fue el de los polímeros conductores. ¿Por qué tanto entusiasmo? Los materiales conductores o semiconductores utilizados corrientemente son metales raros (cobre, plata, etc.), por tanto, caros, o sólidos monocristalinos cuya elaboración es delicada y costosa (Silicio, AsGa). Además, su preparación es a veces difícil, y no siempre tienen las propiedades mecánicas requeridas para sus aplicaciones. Los materiales plásticos no presentan estos inconvenientes pero, en general no son conductores. Desde hace cinco años disponemos de algunos polímeros conductores, como el poliacetileno enrarecido. (*La Recherche,* n.° 124, 1981) y también el TTF-TCNQ.

En el congreso de Estrasburgo han sido distinguidos tres nuevos polímeros conductores, uno estadounidense y dos franceses *(Actas).* H.W. Gibson de Xerox presentó un nuevo derivado del acetileno: el poli. (1,6 heptadiino); G. Froyer, del CNET Lannion, expuso las propiedades eléctricas del poli-p-fenileno; por último, un equipo del Centro de Investigación de Macromoléculas de Estrasburgo informó de su estudio sobre dos tipos de células solares en que se utilizan polímeros semiconductores: el poliacetileno y las películas de metaloftalocianina. ¿Serán los metales destronados por los conductores moleculares? Un tema que seguir.

Circuitos integrados concebidos por estudiantes



En 1972, un equipo del Caltech introdujo la noción de circuitos multiproyectos (MPC en inglés, CMP en francés y español). La finalidad de los cuales es reagrupar sobre un mismo juego de máscaras, es decir, sobre un mismo número de láminas de silicio, un número relativamente importante de proyectos elementales, que permiten a los laboratorios de investigación y organismos de enseñanza realizar sus propios circuitos integrados. En 1979, bajo el impulso de Mead y Conway y con la ayuda de Xerox, las universidades estadounidenses comenzaron su servicio MPC. En

Francia, el primer CMP ha sido realizado en junio de 1981 en el marco de una cooperación entre el laboratorio de informática y de matemáticas aplicadas de Grenoble (IMAG) y el departamento de microelectrónica de la Universidad Católica de Lovaina (UCL), Louvain-la-Neuve (Bélgica).

El circuito en cuestión agrupa tres proyectos concebidos por estudiantes durante quince días de prácticas, con máscaras y tecnología propias. La tecnología es del tipo «Metal Oxido Semiconductor» (MOS), canal n, rejilla de silicio, con cargas de transducción. Las reglas de diseño derivan de las utilizadas para la realización de los circuitos multiproyectos estadounidenses (regla de Mead y Conway). Los canales de los transistores tienen aquí una longitud de μm. Esta realización es la primera etapa de la fundación de un servicio de fabricación de proyectos de circuitos integrados concebidos por los laboratorios de investigación y organismos de enseñanza, a nivel nacional, bajo la égida de la agrupación CNRS para el estudio de los circuitos integrados de silicio (GCIS).

Los responsables de este primer avance, F. Anceau y A. Guyot, anuncian que el próximo circuito multiproyecto francés, que agrupa concepciones nacidas de varios organismos de enseñanza e investigación, será presentado en febrero 1982. El ensamblaje será efectuado por IMAG, las máscaras serán realizadas electrónicamente en el Laboratorio de Técnicas para la Información (LETI), y la tecnología, por el Centro Norbert Segard de Grenoble del CNET.

En el corazón de las galaxias azules compactas

Las galaxias azules compactas son aquellas, irregulares, de pequeñas dimensiones, donde acaba de producirse un fenómeno importante y localizado de formación de estrellas. Han sido muy estudiadas estos últimos años, sobre todo por espectroscopía, con miras a determinar su naturaleza y composición química (se las considera galaxias poco evolucionadas, que contienen pocos elementos pesados). En el censo de semejantes estudios, D. Kunth, del Instituto de Astrofísica de París, y W.L.W. Sargent, del California Institute of Technology, han descubierto en el espectro de una de estas galaxias una línea de emisión con un ancho de 468,4 nm correspondiente a helio ionizado (*Astronomy and Astrophysics*, en prensa). Esta línea caracteriza la presencia de estrellas de Wolf-Rayet, que son las únicas que presentan líneas de emisión intensas, producidas por una envoltura importante en expansión rápida. Estas estrellas son resultado de la evolución de otras de gran masa cuya presencia en la galaxia en cuestión resulta así demostrada.

Por otra parte, encontramos que este objeto no es el único de su especie; otros presentan igualmente la línea de helio ionizado, pero es sin duda en aquél donde el fenómeno está más marcado. Parece que a primera vista contiene una cantidad anormalmente grande de estrellas de Wolf-Rayet, dada la intensidad de la línea del helio. Sin embargo, puede que la galaxia contenga únicamente un número pequeño de estas estrellas extremadamente luminosas, es decir, de masa muy grande, similares a las que han sido descubiertas recientemente en otras galaxias. En todo caso, esta observación arroja nueva luz sobre la formación de estrellas en las galaxias azules compactas.

¿Fusión en dos etapas para los iones pesados?

Las reacciones nucleares entre iones pesados de alta energía son actualmente una de las vías más útiles para el estudio de las propiedades de la materia nuclear. Para explicar el mecanismo de reacción podemos imaginar que, durante su interacción, los dos iones pesados se fusionan, dando un nuevo núcleo poseedor de gran energía interna. Este núcleo se encuentra entonces en un estado de equilibrio inestable, que estabilizará disipando su exceso de energía por «evaporación» emitiendo partículas ligeras (protones, partículas α, etc.). Esta imagen es la más corrientemente utilizada para explicar las reacciones entre iones pesados. Pero acaso sea necesario revisarla como consecuencia de los resultados obtenidos recientemente por un equipo del Instituto de Física Nuclear de Lyon con el ciclotrón del Instituto de Ciencias Nucleares de Grenoble. (*Phys. Rev. Lett. 47*, 639, 1981). Bombardeando un objetivo de ^{27}Al con iones ^{17}N de 100 MeV, detectaron las partículas ligeras emitidas durante la «evaporación». La comparación de sus resultados con las previsiones del modelo simple de la misma muestra que éste no puede explicar más que aproximadamente el 80 % de las partículas emitidas. El excedente emitido podría deberse a una etapa previa a la fase de equilibrio inestable. Harán falta experiencias complementarias, claro está, para comprender todos los detalles del mecanismo. Este será uno de los objetivos en los trabajos que se efectuarán en el nuevo acelerador GANIL que actualmente se construye en Caen.

Conmutación en geles

Las propiedades de conmutación observadas en los semiconductores amorfos han sido muy comentadas desde su descubrimiento por Ovshinsky en 1968. Se sabe que, en efecto, bajo la acción de un impulso eléctrico, un vidrio puede pasar de un estado «off» fuertemente resistivo a un estado «on» mucho más conductor. Según los materiales, puede luego permanecer como conductor o reconvertirse en aislante tan pronto como se corta la corriente. Los físicos aún no están de acuerdo sobre la explicación del fenómeno, pero ya se han realizado dispositivos de conmutación o memorias de ordenador.

Un equipo de Orsay acaba de poner de manifiesto propiedades de conmutación en el seno de geles de óxido de vanadio (J. Livage, *International Conference on amorphous and liquid semiconductors*, Grenoble, julio 1981; J. Bullot y J. Livage, Patente Euratom n.º 8113665, 10 julio 1981). Las propiedades semiconductrices de estos geles eran ya conocidas, pero es la primera vez que el fenómeno de conmutación es observado dentro de una materia geliforme. ¿Se abrirá así el camino a la utilización de geles en los componentes electrónicos? Sería interesante, puesto que se trata de materias muy poco costosas.

La memoria de los vegetales

La memoria ha sido por mucho tiempo considerada como una aptitud propia de los animales y del hombre. Sin embargo, algunos trabajos recientes han permitido evidenciar la existencia de procesos de memorización en los invertebrados, especialmente en los insectos y moluscos (*La Recherche*, n.º 118 1981) Pero ¿son los vegetales capaces de memorizar una información? Es lo que tratan de probar recientes investigaciones emprendidas, dentro del marco del CNRS (Centre National de Recherche Scientifique) en colaboración con las Universidades de Clermont y de Rouen, y del IHES (*M. Thellier, M.O. Desbiez, Y. Kergosien, P. Champagnat, C.R. Acad. Sc. París, 292, 1187, 1981).* En principio, el equipo de Clermont había mostrado que si se decapita la yema terminal (ápex) de una plantula *(Bidens pilosus)* cuando aún no posee hojas desarrolladas sino cotiledones («hojas embrionarias»), sólo uno de éstas crece para remplazar el ápex desaparecido. Se dice que ha «tomado precedencia» véase la otra yema cotiledónea, procedencia que normalmente cabe a ambas yemas por igual; sin embargo, bastan unos alfilerazos en uno de los cotiledones para dar ventaja al otro. El hecho de eliminar los dos cotiledones tras haber picado uno de ellos no varía el resultado.

Las experiencias recientes han demostrado que el resultado final se mantenía, aun cuando los pinchazos se hicieran antes de la decapitación, lo cual supone que el pinchazo inicia una señal que es transmitida a la yema cotiledónea, donde se memoriza. Esta señal se revelará ulteriormente como respuesta a la segunda señal representada por la decapitación de la plántula y se traducirá como inicio del crecimiento de la yema correspondiente al cotiledón no picado. Por analogía con el índice de aprendizaje definido para los animales, los autores de estas investigaciones han introducido un «índice de memorización» de las señales de pinchazo. Así, han podido mostrar que, contrariamente a lo que ocurre con los animales inferiores, donde el valor del índice de aprendizaje puede disminuir de forma muy sensible tras algunas horas, el índice de memorización entre los vegetales permanece perfectamente estable durante, al menos, quince días.

LA ELECTRONICA EN 30 LECCIONES TEORIA Y PRACTICA

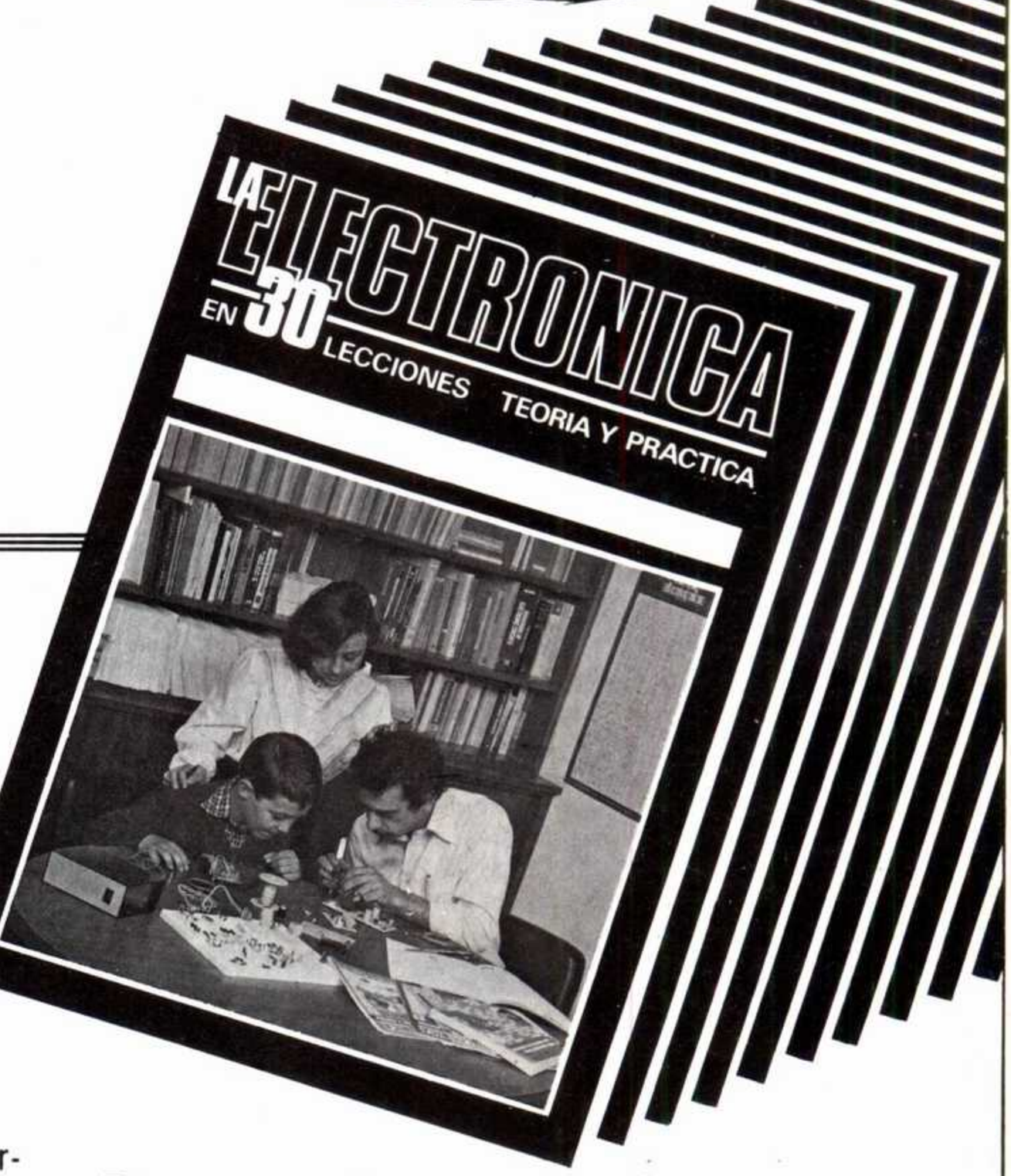
El mundo apasionante de la ELECTRONICA
¡Por fin a su alcance!
cada 15 días

LA PRIMERA ENCICLOPEDIA DE ELECTRONICA EN FASCICULOS QUE FORMA Y ENTRETIENE

Es un método **FACIL, RIGUROSO Y COMPLETO.**

Para aprender Electrónica, mientras se divierte montando en su casa 32 interesantes y útiles kits.

A lo largo de 960 páginas de densa información y alrededor de 1.500 figuras, así como 32 kits de montaje detalladamente explicados, el lector se adentrará en el fascinante mundo de: los semiconductores, circuitos lógicos, telecomunicaciones y microondas, radioafición, alta fidelidad, electrónica industrial, alarmas, etc.



INTERESANTE

Tanto para los jóvenes que se inician, como para las personas adultas, radioaficionados, estudiantes de cualquier especialidad, electricistas, operarios de mantenimiento y en general para todo aquel que desee introducirse en el apasionante mundo de la Electrónica moderna.

De venta en kioscos y librerías a partir del 15 de Septiembre

Con esta enciclopedia en fascículos, Boixareu Editores, que ya publica «MUNDO ELECTRONICO» y «ACTUALIDAD ELECTRONICA», quiere prestar un servicio más al mundo de la Electrónica, avalando con su experiencia y probada seriedad, la calidad y utilidad del curso que ahora presentamos.

LA ELECTRONICA EN 30 LECCIONES · TEORIA Y PRACTICA

Es un servicio más de:

BOIXAREU EDITORES

Gran Vía Corts Catalanes, 594, 2°
Barcelona-7 Tel. (93) 318 00 79

CUPON DE SOLICITUD DE INFORMACION

*D.*_____

*Domicilio*_____

*Ciudad*_____ *D.P.*_____

Ruego me envíen gratis el N° 0 de LA ELECTRONICA EN 30 LECCIONES

Saturno visto por el Voyager 2: corrientes atmosféricas, anticiclones torbellinos, turbulencias...

El encuentro del Voyager 2 con Saturno

Después del Pioneer 11 el 1 de setiembre de 1979 y del Voyager 1 el 12 de noviembre de 1980, Saturno fue sobrevolado por tercera vez el 26 de agosto de 1981: la sonda Voyager 2 pasó a 101 000 km del planeta, la distancia más corta a que ha llegado un artefacto terrestre. De nuevo se acumuló una enorme cantidad de datos sobre el planeta, sus anillos, sus satélites y sus alrededores (más de 10 000 fotografías, más de 60 000 espectros infrarrojos, millones de datos sobre el campo magnético, el campo eléctrico, la radiación cósmica, la radiación ultravioleta, etc.).

Las imágenes proporcionadas por el Voyager 2 tienen una calidad mucho mayor que las obtenidas hasta la fecha y ello por varias razones: la cámara del Voyager 2 ha resultado ser muy superior a la del Voyager 1, la mejora es del orden del 50%; el ángulo que forma el plano de los anillos con respecto a la dirección del Sol y el ángulo de llegada de la sonda eran mucho mayores que en el mes de noviembre de 1980. Por lo tanto, una mayor iluminación y un mejor ángulo de visión permitieron la obtención de imágenes mucho más espectaculares: el máximo acercamiento se produjo en el lado iluminado de los anillos, a diferencia del Voyager 1 que lo efectuó en el lado oscuro; aprovechando la experiencia del anterior viaje, los astrónomos calcularon los tiempos de exposición más adecuados.

El programa del Voyager 2 se complementaba perfectamente con el del Voyager 1. Esta vez, los satélites que no pudieron ser observados el año anterior se hallaban cerca de la trayectoria de la sonda. La comparación de las fotografías tomadas bajo ángulos e iluminaciones diferentes permite deducir informa-

Figura 1: **Fotografía de Saturno y sus anillos obtenida el 4 de agosto de 1981 por el Voyager 2 a una distancia de 21 millones de kilómetros. En la parte inferior de la fotografía se ven sucesivamente Tetis (1 050 km de diámetro), Dione (1 120 km de diámetro) y Rea (1 530 km de diámetro). En el hemisferio sur del planeta se ve la sombra de Tetis.** (Foto NASA.)

Figura 2: **Imagen detallada del anillo C de Saturno obtenida el 22 de agosto de 1981 por el Voyager 2 a una distancia de 2,7 millones de kilómetros. Esta fotografía en «falsos colores» fue construida mediante tomas con tres filtros distintos: UV, azul y verde. En esta parte del anillo C pueden distinguirse más de sesenta subanillos brillantes y oscuros. Las diferencias de color entre los anillos revelan las diferencias de composición de las partículas que lo componen.** (Foto NASA.)

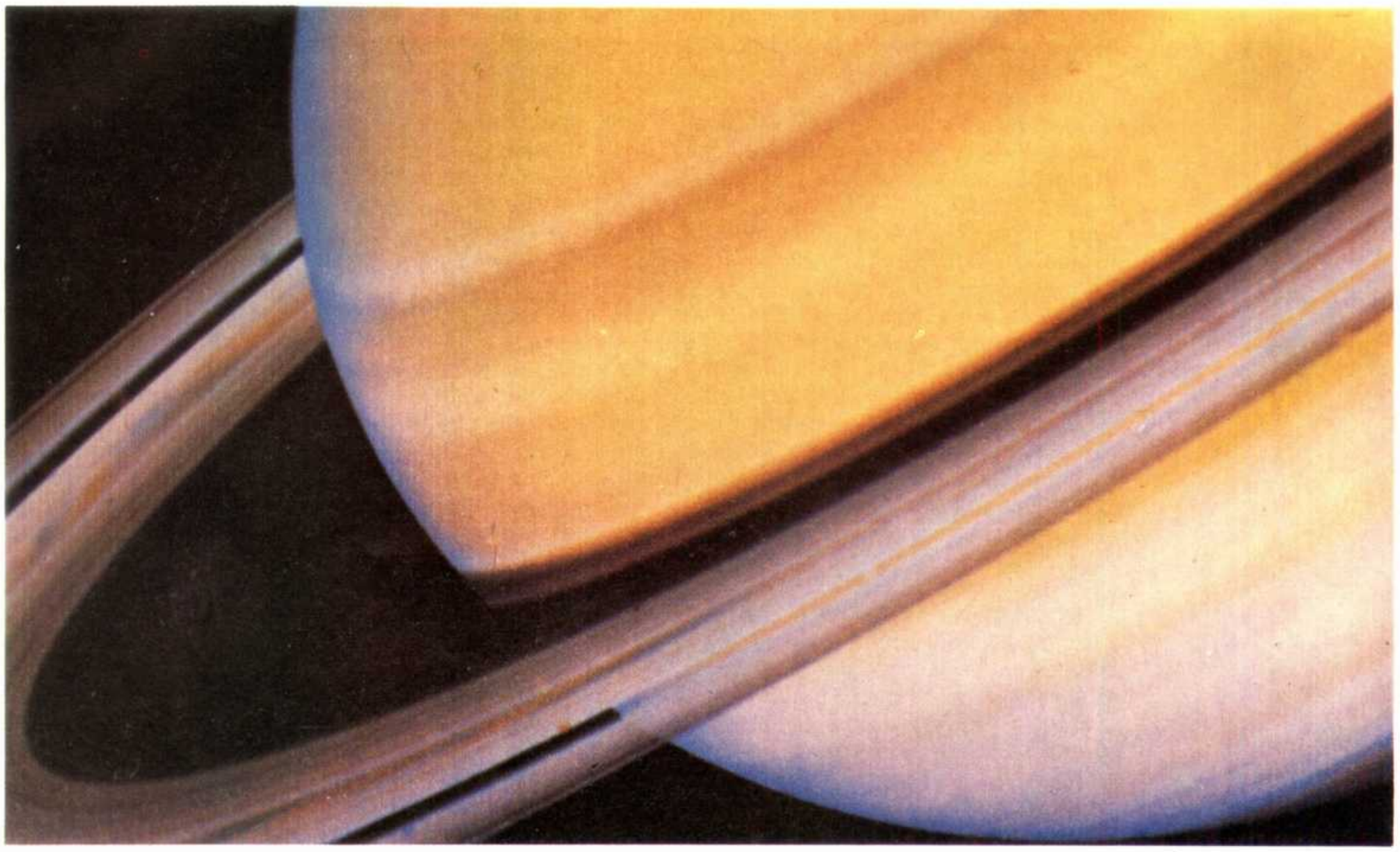


Figura 3: **Fotografía de Saturno y sus anillos obtenida el 11 de agosto de 1971 cuando la sonda se hallaba a 13,9 millones de km del planeta. En ella se distinguen la sombra del anillo sobre el planeta y las numerosas estructuras atmosféricas de las regiones de latitud media.** (Foto NASA.)

Figura 4: **Iapeto fotografiado por el Voyager 2 el 2 de agosto de 1981 en el momento de su máxima aproximación al satélite (1,1 millones de kilómetros). El poder de resolución de la cámara es de 21 km sobre el satélite. El polo norte de Iapeto está cerca del gran cráter que posee un pitón central y que se ve parcialmente en la sombra, en la parte superior izquierda de la fotografía. Iapeto posee un hemisferio brillante cubierto de cráteres y un hemisferio oscuro (a la derecha de la fotografía) de color rojizo que refleja menos del cinco por ciento de la luz solar. Se ignora si este material oscuro proviene de un bombardeo exterior o de una fuente interna.** (Foto NASA.)

Figura 5: **Detalle de la atmósfera de Saturno fotografiada el 20 de agosto de 1981 por el Voyager 2 desde una distancia de 6,4 millones de kilómetros del planeta. El norte se halla hacia arriba y a la izquierda de la figura. Al sur de la estructura en forma de «6», los vientos soplan hacia el oeste a razón de unos 20 m/s. Más al norte, en el interior de la zona blanca próxima a la estructura en forma de cinta, los vientos soplan hacia el este con una velocidad de 130 m/s** (Foto NASA.)

Cantidades enormes de datos sobre la atmósfera, los satélites y los anillos de Saturno están transformando las ideas existentes.

ciones importantes, tales como el número y la naturaleza de las partículas que componen los anillos. A la luz de los primeros resultados del Voyager 1 se reconstruyó el programa del Voyager 2 con la intención de dar prioridad a los fenómenos más interesantes. Es por esto que la mayor parte del tiempo de observación se consagró a los anillos. Del Voyager 2 se esperaban confirmaciones, informaciones complementarias y novedades, y no decepcionó. Es prematuro efectuar ahora el balance de esta exploración de Saturno que transforma muchas de las ideas adquiridas, no sólo sobre el mundo saturniano sino también sobre la formación y evolución de los planetas. Nos limitaremos a continuación a enumerar algunos resultados importantes.

Una atmósfera activa

Contrariamente a lo que se pensaba después del Voyager 1, la atmósfera de Saturno no está recubierta por una capa de bruma y es particularmente activa. El Voyager 2 observó anticiclones, torbellinos, turbulencias, corrientes atmosféricas y nos mostró un mundo por lo menos tan activo como Júpiter. La atmósfera de Saturno es químicamente muy rica: se han descubierto numerosas moléculas no detectables desde la Tierra, como el propano (C_3H_8) y el metilacetileno (C_3H_4). El metano, el amoniaco, la fosfamina, el acetileno y el etano fueron observados bajo buenas condiciones. Saturno está compuesto esencialmente de hidrógeno y helio. El Voyager nos permitió descubrir que la abundancia de helio con respecto al hidrógeno era dos veces menor en la atmósfera de Saturno que en la de Júpiter, cuando desde este punto de vista se creía que eran idénticos. Este hecho se interpreta por la separación del helio y del hidrógeno bajo grandes presiones. El helio emigra hacia el centro del planeta, lo cual explica el hecho de que Saturno emita dos veces más energía de la que recibe del Sol. Este resultado, junto con el descubrimiento de la presencia de un núcleo formado por elementos pesados (elementos más pesados que el hidrógeno y el helio) más de diez veces mayor de lo previsto, cuestiona nuestras ideas sobre la estructura interna, la evolución y la formación del planeta. La magnetosfera de Saturno presenta fluctuaciones muy rápidas, del orden de algunas horas, bajo el efecto de un viento solar asimismo muy variable. También se observaron auroras polares e intensas fuentes radio en sus alrededores.

Diecisiete satélites muy distintos

Mientras que el Voyager 1 había permitido determinar la composición de la atmósfera de Titán, único objeto que junto con la Tierra posee una atmósfera de nitrógeno, y nos había mostrado las superficies llenas de cráteres de Mimas, Rea y Dione, el Voyager 2 observó los diecisiete satélites conocidos de Saturno. Los más pequeños (menos de 400 km de diámetro) son irregulares: su masa no es suficiente como para que la gravedad haya podido convertirlos en esféricos. Hiperión, que tiene una longitud máxima de 340 km es muy alargado y no siempre presenta la misma cara a Saturno. Contrariamente a los satélites visitados hasta el momento, Jafet posee un hemisferio brillante cubierto de cráteres y un hemisferio seis veces más oscuro, lo cual de momento es completamente incomprensible: ¿se trata del resultado de un bombardeo exterior o de la manifestación de un proceso interno? Encelado, aunque diez veces más pequeño que Ganimedes, satélite de Júpiter, se le parece en algunos aspectos. Su superficie está recubierta por una mezcla de terrenos oscuros fuertemente craterizados y de terrenos jóvenes (la edad de algunos se estima en menos de cien millones de años) que presentan fisuras y coladas; todavía no se conoce la fuente de energía de estos procesos geológicos en la superficie de un cuerpo tan pequeño (menos de 500 km de diámetro). Tetis, de 1 000 km de diámetro, posee un cráter de 400 km producido por una gigantesca colisión que estuvo a punto de fragmentarlo. Febe fue fotografiado con éxito el 5 de setiembre. Al revés de los demás satélites que están formados esencialmente de hielo, su superficie es muy oscura (refleja menos del cinco por ciento de la luz del Sol). Este pequeño objeto, de unos 250 km de diámetro, parece alargado.

Más de 10 000 anillos

La mayoría de las sorpresas del Voyager 1 aparecieron en las observaciones de los anillos. Contrariamente a lo que se esperaba, éstos están formados por miles de delgados anillos concéntricos que, en su conjunto, proporcionan el aspecto de un disco microsurco. Los detalles más pequeños descubiertos por el Voyager 1 fueron observados de nuevo con mayor resolución por el Voyager 2 poniendo de relieve estructuras aún más finas. Allí donde se veían mil anillos ahora se perciben más de diez mil. En el anillo C y en la división de Cassini se han descubierto anillos excéntricos. En medio de la división de Encke se acaban de descubrir anillos trenzados similares a los del anillo F. Gracias al Voyager 1 se descubrieron unas estructuras radiales (una especie de huellas de dedos en un microsurco) de más de 20 000 km de longitud. Con el Voyager 2 se ha visto cómo se formaban en menos de diez minutos: probablemente sean debidas a la acción de tormentas magnéticas en el seno de los anillos, las cuales levantan pequeñas partículas que forman abultamientos a ambos lados del plano de los anillos.

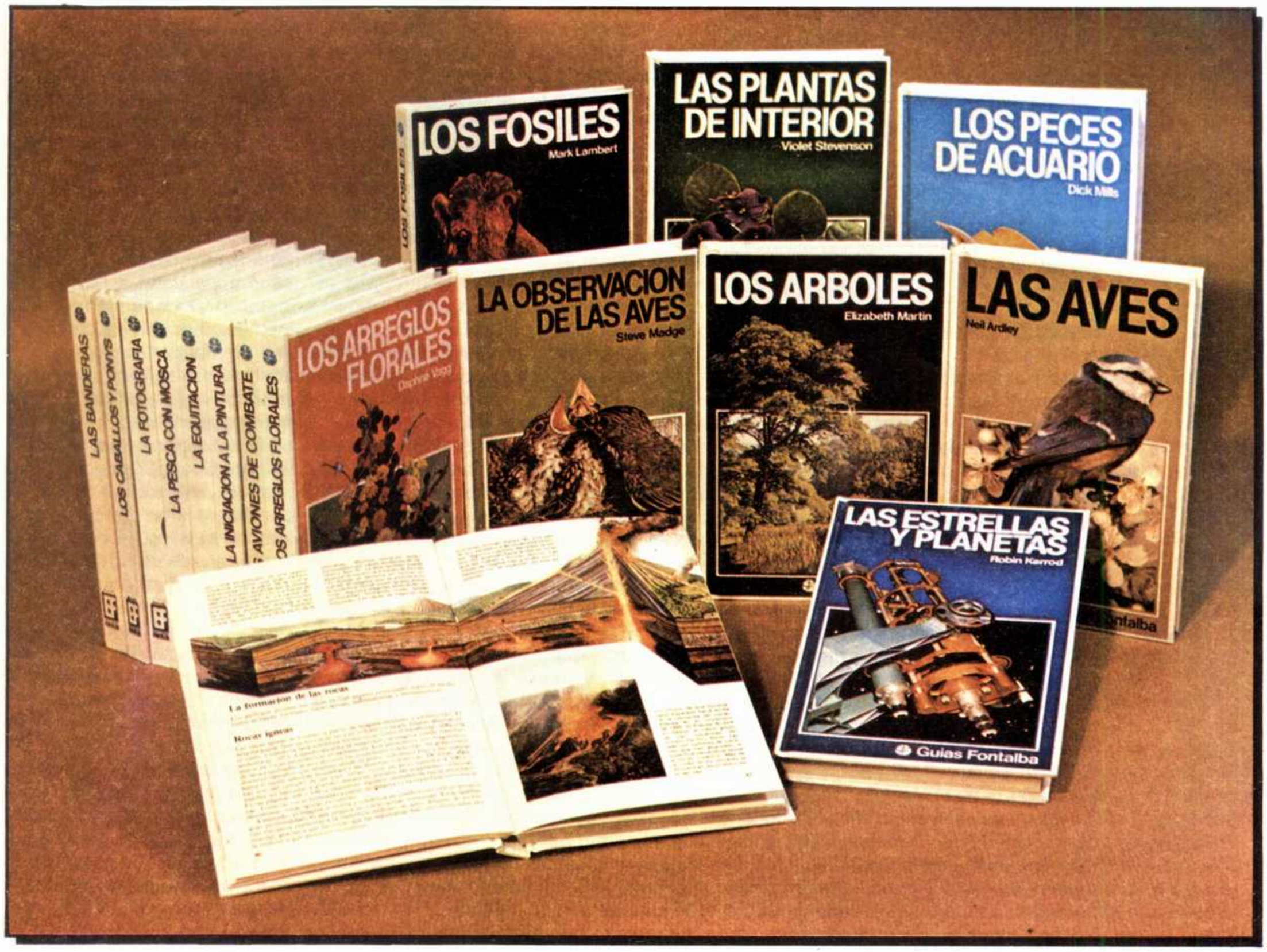
La sonda atravesó el plano de los anillos a unos 2,8 radios planetarios. Durante los cinco minutos que empleó en recorrer los 2 000 km de espesor de dicha zona se registraron más de diez mil impactos de pequeñas partículas del tamaño de una micra. Este medio parece ser muy hostil.

El fotopolarímetro del Voyager 2 (el del Voyager 1 se estropeó al sobrevolar Júpiter) permitió observar la ocultación por los anillos de la estrella Delta de la constelación de Escorpión. La luz de la estrella aparecía y desaparecía detrás de los anillos a medida que la sonda se desplazaba. El éxito de esta experiencia permitió obtener una resolución del orden de los cien metros sobre la estructura de los anillos y nos mostró numerosos detalles que ahora es preciso analizar. Determinadas estructuras muy finas detectadas por el fotopolarímetro durante la ocultación de la estrella no aparecen en las correspondientes fotografías tomadas a intervalos de algunas horas por la cámara. Algunos se preguntan si, en el seno de los anillos, estas estructuras no varían rápidamente con el tiempo. Por otra parte, el borde de los anillos es muy nítido y no está difuminado. Esto confirma que un mecanismo de confinamiento está trabajando actualmente en su interior. Los anillos están probablemente confinados por pequeños satélites o grandes partículas (del orden del kilómetro) que crearon las divisiones oscuras y que repelen a los anillos vecinos. El estudio detallado de este complejo mecanismo debería permitirnos comprender mejor una de las etapas de la formación de los planetas.

A más de 1,5 millones de kilómetros de la Tierra, esta exploración constituye un notable éxito tecnológico. Cuando lo esencial de la misión estaba cumplido, sobrevino una avería a la sonda Voyager 2: uno de los ejes de rotación de la cámara quedó bloqueado. Es de esperar que las citas con Urano y Neptuno, previstas para el 24 de enero de 1986 y el 24 de agosto de 1989, respectivamente, tengan lugar bajo buenas condiciones y nos aporten tantas sorpresas como lo hicieron en su momento Júpiter y Saturno. En una generación se habrán explorado ocho de los nueve planetas conocidos. Todos esperamos que esta aventura única continúe al mismo ritmo.

André Brahic.

GUIAS FONTALBA



Con un lenguaje sencillo y un rigor metodológico envidiables, las GUIAS FONTALBA cumplen su cometido de informar objetivamente a los lectores sobre muchos de los problemas que les preocupan.

Una selección de textos sobre temas de la actualidad científica y técnica, así como ciertas aficiones que han despertado la curiosidad y apasionado a los ciudadanos del último tercio del siglo XX.

- Fotografías e ilustraciones a todo color.
- Formato: 13,5 × 20 cm.
- Páginas: 128 en cartoné.
- **P.V.P.: 725 pts. cada volumen**

LOS FOSILES - *Mark Lambert*
LAS AVES - *Neil Ardley*
LOS AVIONES DE COMBATE - *Andrew Kershaw*
LOS ARBOLES - *Elizabeth Martin*
LAS BANDERAS - *Eric Inglefield*
LAS ESTRELLAS Y PLANETAS - *Robin Kerrod*
LOS CABALLOS Y PONYS - *Georgie Henschel*
LOS MINERALES Y ROCAS - *Heith Lye*
LOS PECES DE ACUARIO - *Dick Mills*
LAS PLANTAS DE INTERIOR - *Violet Stevenson*
LA INICIACION A LA PINTURA - *James Ogilvie-Forbes*
LA EQUITACION - *Julie Richardson*
LOS ARREGLOS FLORALES - *Daphne Vagg*
LA PESCA CON MOSCA - *Brian Furzer*
LA OBSERVACION DE LAS AVES - *Steve Madge*
LA FOTOGRAFIA - *Barry Monk*
LAS FLORES SILVESTRES - *Marilyn Jones*
LOS HONGOS Y LAS SETAS - *Derek Reid*

Pídalo a su librero o contrarreembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.
Valencia, 359 - 6.º 1.ª
Barcelona-9 (España)

Prestel, Antiope, Télétel, Telidon... sistemas telemáticos que dan que hablar.

El videotex: imágenes por dos hilos

La transmisión de la televisión exige una amplia banda portadora o un elevado flujo de informaciones. Al contrario de lo que sucede con el teléfono, por ejemplo, al que bastan dos hilos, la difusión por cable de imágenes con la definición que presentan nuestros actuales televisores necesita un cable coaxial; y, si bien varios son los millones de hogares que están conectados entre sí mediante un par de conductores de cobre, son muy pocos los equipados con cable coaxial. Ésta es la razón de que hace años, en el espíritu de los especialistas en telecomunicaciones, haya germinado la idea de investigar procedimientos que permitisen transmitir *mensajes visuales* (a falta de imágenes que posean todas las características de la televisión) por las redes existentes, iniciativa que ha conducido al *videotex* (*video* por mensajes visuales y *tex* para recordar la primera intención, o sea, la transmisión de textos), sistema que permite recibir textos y algunos dibujos, lo cual constituye la parte esencial de los mensajes existentes hoy día en las bases de datos y en los catálogos.

De esta forma ha nacido una encarnizada competencia entre británicos, franceses, canadienses y, últimamente, estadounidenses. Igual ocurre con el Antiope-Télétel, el sistema francés, los Prestel y Ceefax británicos y el Telidon canadiense.

Los sistemas de videotex están constituidos por tres sistemas principales: la red de transporte de las informaciones, el aparato del abonado y, naturalmente, las bases de datos que el sistema permite consultar.

Utilizar lo existente

El videotex se ha diseñado para aprovechar las estructuras existentes: bien la red telefónica conectada con el videotex «interactivo» (Télétel experimentado en Vélizy en el caso francés) bien la red de difusión de televisión para el videotex radiodifundido (Antiope en Francia); en este último caso, el mensaje de videotex «pasa entre las líneas» de la televisión.

El ambos casos, el videotex utiliza redes construidas para transportar señales analógicas (palabra o imagen). Cabe asimismo que las páginas videotex sean, por el contrario, de tipo informático, es decir, que las informaciones estén codificadas en binario: la transmisión de estas informaciones digitales exige una adaptación de ambos extremos de la red que, de ser la telefónica, se resume a la agregación en los puntos de emisión y recepción de «modems» (*mo*dulador-*demo*dulador) que permiten transportar información sobre un soporte analógico. Con la red de difusión, ello es a la vez más sencillo porque la transmisión es unidireccional, y más complejo a causa de la gestión de los errores y del direccionamiento del destinatario. Un equipo francés ha estudiado un sistema completo, el DIDON[1] (Diffusion de Données), para utilizar la red de emisoras de TV en la difusión de datos.

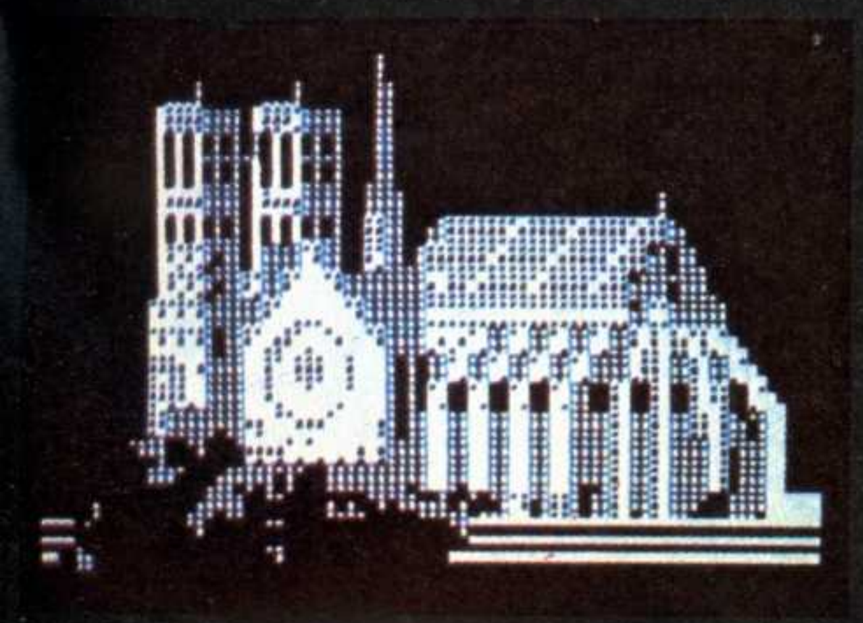
Sin embargo, en la filosofía Antiope-Télétel y Telidon canadiense, todo lo referente a la producción y descripción de las páginas de información es enteramente independiente de la naturaleza de la red que transporta el mensaje. Un prestatario de informaciones puede crear una base de datos sin saber *a priori* por qué tipo de red los usuarios tendrán acceso a la misma (este concepto de independencia de las funciones de transporte y de la naturaleza de los mensajes transportados se ha normalizado y afinado recientemente bajo el término general de OSI (Open System Interconnection).

En cambio, en la filosofía británica Prestel-Ceefax, la codificación del mensaje de diferencia *a priori* según la red de distribución presunta. Un determinado mensaje no se describe con el mismo juego de códigos según esté destinado a ser distribuido por red interactiva (Servicio Prestel) o por red de difusión (Servicio Ceefax u Oracle). La compaginación del texto, en particular, en un caso es explícita y en el otro implícita. Simple cuestión de transcodificación, dicen unos; grave error de diseño, dicen otros.

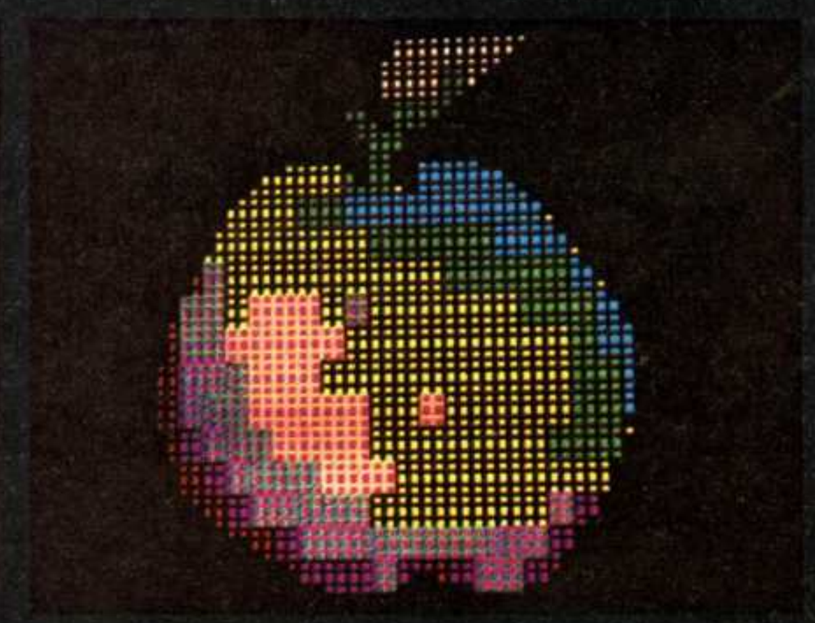
El aparato de consulta de las informaciones transmitidas por videotex es el segundo pilar del sistema; su coste en particular es un parámetro fundamental. El dispositivo de visualización de las imágenes-mensajes propiamente dicho es típicamente un receptor de televisión (eventualmente desprovisto de sus partes de RF para las aplicaciones puramente interactivas); claramente independientes, pues, del sistema videotex. El

Figuras 1, 2 y 3. **El videotex permite transmitir imágenes (fijas) por una línea telefónica, mientras que la transmisión de imágenes animadas de la calidad de la televisión pública necesita una banda de frecuencias bastante más ancha y, por tanto, un cable coaxial. Se han explorado varias técnicas de codificación de imágenes. En el CCETT, el equipo que desarrolla el sistema Antiope-Télétel ha elegido el enfoque alfanumérico, es decir, el que emplea juegos de caracteres alfabéticos y numéricos. De hecho, el sistema está dotado de posibilidades de ampliación: han sido incorporados los acentos, y las características de las letras que deben visualizarse son definibles, carácter a carácter, sin violentar el contexto, lo que es particularmente importante en las aplicaciones gráficas. De ahí, que el sistema se llame alfamosaico «paralelo».**
Figuras 4, 5 y 6. **El Antiope-Télétel también puede ampliarse al modo geométrico, es decir, que pueden componerse páginas que tengan texto, pero también gráficos y esquemas como los que se realizan normalmente con regla y compás. Los sistemas canadiense y estadounidense de ATT son resueltamente alfageométricos desde el principio, pero sus normas son diferentes.** (Fotos CCETT.)

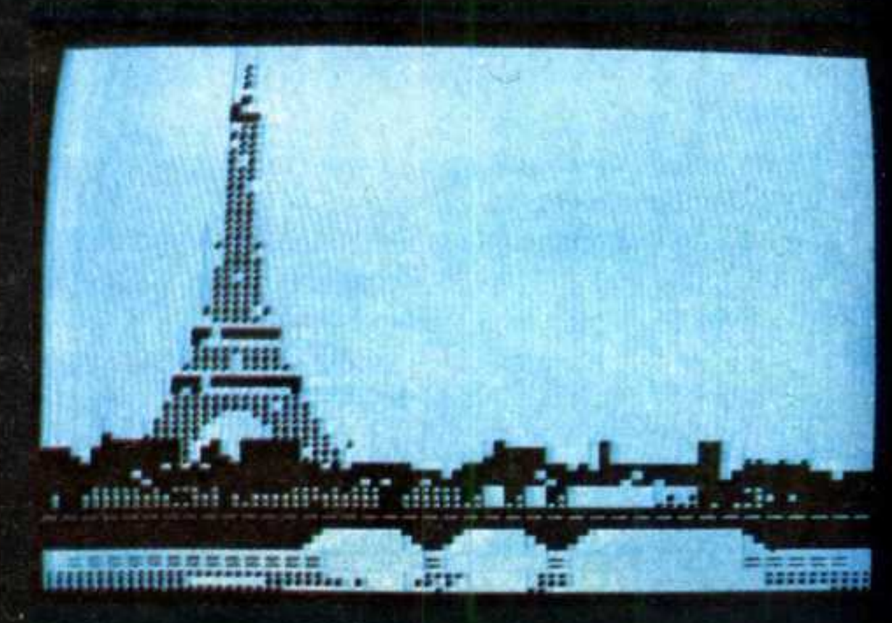
1



2



3



terminal o decodificador que puede estar físicamente integrado en el receptor de televisión, en cambio, no lo está. En el caso del programa televisado normal, la imagen se «refresca» veinticinco veces por segundo, o sea, que por la red se transmiten veinticinco imágenes, habitualmente diferentes, cada segundo (por lo menos en Europa). En videotex, la imagen está fija porque, en general, se trata de un texto: por tanto, la red sólo transmite una vez el juego de código que representan la imagen. El terminal debe guardar en su memoria local los códigos o una traducción mejor adaptada, durante el tiempo que dura la visualización. El terminal también debe permitir la *visualización de la página memorizada,* es decir, lograr la síntesis de una señal de televisión a partir de las informaciones contenidas en la memoria local. Por último, debe asegurar las funciones de decodificación e interpretación de las informaciones recibidas de la red o del teclado de control.

Para que el servicio videotex se desarrolle es preciso que el terminal alcance un precio suficientemente bajo. De hecho, el coste de la realización de estas tres funciones esenciales (memorización, visualización y decodificación) está fuertemente ligado a la tecnología, que es muy evolutiva en los campos involucrados porque se trata de microelectrónica.

Los ingleses dispararon primero

Cuando los primeros sistemas videotex fueron proyectados hacia 1975, las memorias RAM (Random Access Memory) aún eran caras. Prestel y Ceefax se diseñaron para consumir un mínimo de memoria por página: 7 kbites, o sea 7 veces 1 024 bites que, en aquella época, eran 7 unidades de memoria de 1 kbit cada una (hoy día bastaría una sola unidad de memoria de 1 K). Las posibilidades gráficas del sistema británico son limitadas: es alfanumérico y tiene un repertorio de 94 caracteres utilizables, y sólo está dotado de una posibilidad de dibujo basto mediante combinaciones de 64 caracteres suplementarios. Además, ciertas restricciones hacen difícil la composición manual y extremadamente delicada la edición automática.

Algunos meses más tarde (1976 y 1977), Télédiffusion de France y Télécommunications abordaron la cuestión en el CCETT (Centre Commun d'Etude de Télévision et Télécommunication) y propusieron el sistema Antiope-Télétel, en el que se explotaban las nuevas posibilidades de los microprocesadores y la reducción del precio de las memorias, de las cuales se necesita doble cantidad que en el sistema inglés. Sin embargo, se seguía en el terreno alfanumérico: los juegos alfabéticos son ampliables y, en particular, se introducen los caracteres acentuados. Las características de las letras que deben visualizarse son definibles carácter a carácter, sin violentar el contexto ni las posiciones que las rodean, lo cual es muy interesante en las aplicaciones gráficas. De ahí, el nombre alfamosaico «paralelo» para este sistema. Finalmente, el lenguaje, o sea el conjunto de instrucciones disponibles para componer o escribir una página, no está condicionado por particularidades del terminal, sino que conviene totalmente con las normas ISO existentes en este campo (ISO 646 e ISO 2022, principalmente), lo que asegura un elevado grado de compatibilidad ascendente y descendente en la comunicación de textos. La comparación de los costes del terminal Télétel y del terminal Prestel no es sencilla, pero en general se estiman del mismo orden de magnitud.

Dos años más tarde (1978), los canadienses, con Telidon, explotaron aun más los progresos de las memorias RAM de gran capacidad. Télétel y Prestel son sistemas «orientados a los caracteres». El Telidon es un sistema resueltamente «orientado al punto»:[2] permite componer páginas con texto, pero también con croquis y esquemas, tal como se realizan habitualmente con la regla y el compás. En este caso, las páginas se escriben con instrucciones o «primitivos gráficos» (llamados PDI, de Picture Description Instructions). El lenguaje es potente, pero implica fuertes recursos de memoria de página (se pasa de 1 a 2 K bites de los sistemas alfamosaicos a unos 30 K bites en el Telidon, o sea unas 60 000 palabras de 4 bites si cada «palabra» corresponde a un punto de la pantalla). Pero, en la actualidad esto ya no asusta, cuando se considera que las memorias RAM de 64 K bites sólo valen algunos centenares de pesetas. En Francia se ha estudiado un sistema comparable y, en cierto aspecto compatible, denominado «Téléécriture».[3] Estos trabajos se han llevado a cabo dentro del marco de un acuerdo franco canadiense con el fin de definir una síntesis entre estos dos sistemas.

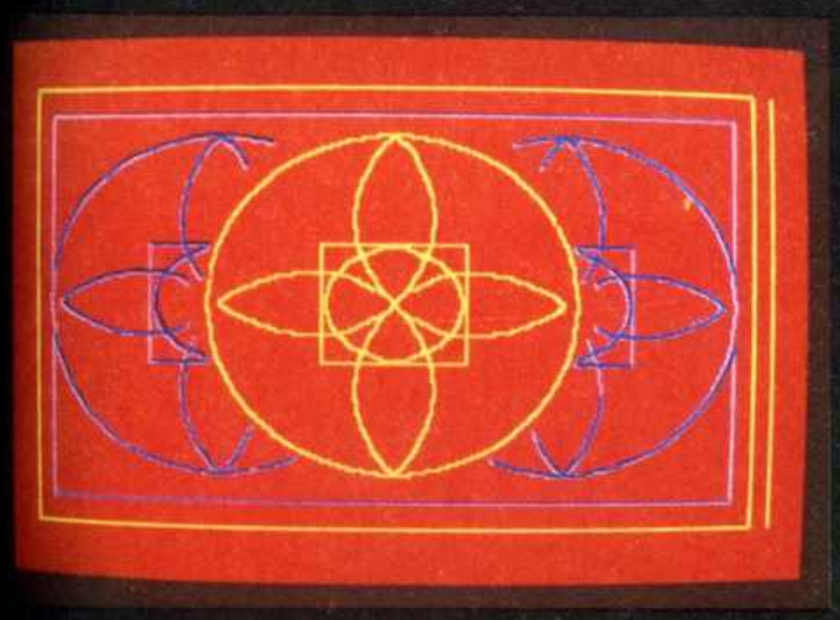
El punto fuerte del Telidon consiste en que el lenguaje de elaboración de las páginas que utilizará el prestatario de informaciones es en gran medida independiente de las características del terminal del usuario y, en particular, de su definición (finura del punto de imagen). Para los canadienses, esta cualidad compensa ampliamente el obstáculo que representa un terminal sensiblemente más caro que el del Antiope-Télétel, ya que necesita unos mayores recursos de memoria (aunque el coste relativo de ésta sea cada vez más bajo).

La guerra de las normas

Los sistemas y proyectos de videotex se han multiplicado rápidamente en todo el mundo, y los organismos de normalización, el CCITT (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique) y el CCIR (Comité Consultatif International des Radiocommunications) han sido rápidamente invitados a pronunciarse sobre la cuestión. En el CCITT, el videotex se ha tratado en procedimiento de urgencia a partir de mayo de 1978. Al cabo de dos años de apasionado trabajo se han presentado dos notificaciones: sólo describen un sistema, pero la voluntad de normalización se detiene ahí; el sistema único tiene, de hecho, tres opciones: el alfamosaico «serie» (Prestel), el alfamosaico «paralelo» (Antiope-Télétel) y el alfageométrico (Telidon); las tres opciones, en condiciones de igualdad y, por así decir, hay comba-

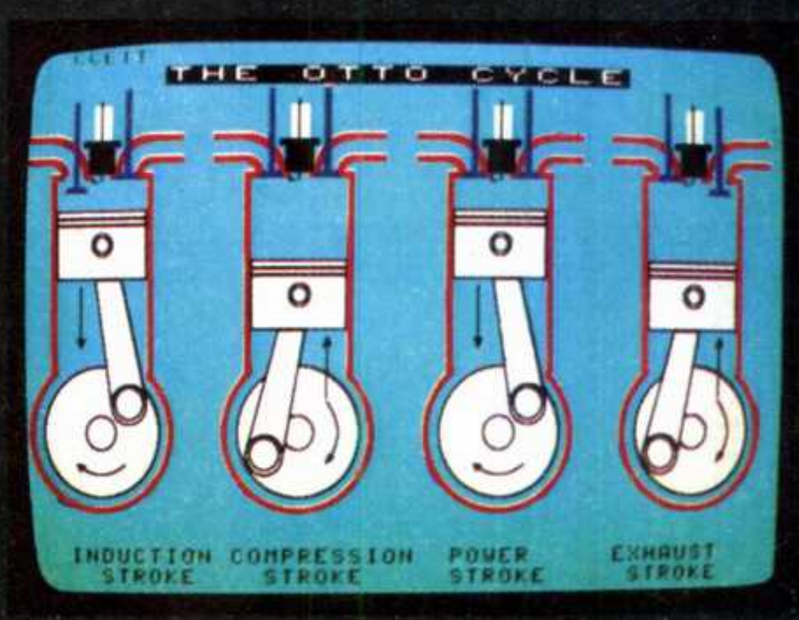
(1) Blineau, Dublet, Noirel y Vardo, «*DIDON*: diffusion de données par paquets». *Etat de la technique*, revista de radiodifusión y televisión nº 3.80.
(2) Brown, O'Brien, Sawchuk y Storey. *A general description of Telidon: a Canadian proposal for videotex systems*, CRC Ottawa, 1978.
(3) P. Lorig, J.C. Rahuel y C. Roux, «Réalisation d'un terminal mixte téléécriture-vidéotex», *L'echo des recherches*, nº 104, CNET. En Francia, en el CCETT (Centre Commun d'Etudes de Télévision et de Télécommunications), Rennes.

4



5

6



Una disputa sobre normas que puede costar cara a la industria europea...

te nulo entre los diferentes protagonistas, por lo menos en el seno de los organismos normalizadores mundiales.

La necesidad de definir una verdadera norma europea aparece cada vez más evidente para la Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications (CEPT). Desde finales de 1980, algunos países que han adquirido sistemas experimentales del tipo Prestel para realizar experiencias piloto y ensayarlos están interesados e inclinados favorablemente por las mejoras aportadas en los sistemas del tipo Antiope-Télétel, y están forzando a la CEPT para que establezca normas que permitan la creación de un sistema «sincretizado». En este aspecto, Alemania Federal está siendo particularmente activa; propuso hace algunos meses un sistema de vocación europea denominado «modelo en capas», que aparece como supermodelo compatible al mismo tiempo con el Télétel y el Prestel mediante la utilización simultánea de las modalidades «alfamosaico serie» y «alfamosaico paralelo». Este sistema no ofrece ninguna función nueva, pero salva numerosos problemas. Finalmente, el proyecto ha sido abandonado, suplantado por una combinación casi mínima de Télétel y Prestel conocida con el nombre de «modelo temporal» (por oposición al «modelo de capas») que, actualmente, se ha convertido en el «estándar CEPT europeo», oficial a partir de mayo de 1981. Con este compromiso todo el mundo salva la cara: los británicos consiguen que su norma, en la actualidad un poco obsoleta, quede incluida en la futura; los principios del Antiope-Télétel también se adoptan, y la inversión industrial que han hecho los franceses para realizar los circuitos integrados LSI necesarios para su alfamosaico queda salvaguardada; los alemanes han tenido la iniciativa de este acercamiento europeo e, indiscutiblemente, han tomado parte en su realización. Sin embargo, este acuerdo político tarda en levantar el entusiasmo industrial, y más con lo que se mueve al otro lado del Atlántico.

La bomba de American Telephone and Telegraph

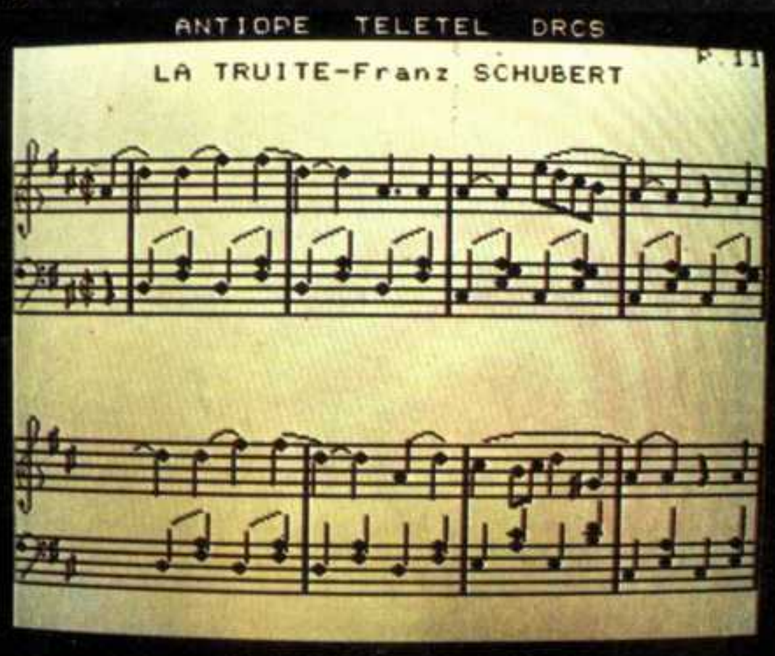
En plenas negociaciones para la adopción en prueba de la norma Antiope por parte de la televisión estadounidense CBS, sucedió que en mayo de 1981, en Toronto, durante la conferencia Videotex 81, el gigante estadounidense del teléfono, ATT, presentó su norma videotex (o de forma más precisa, la parte «protocolo de presentación de la norma», que en la actualidad constituye el campo de batalla). Funcionalmente, la norma se presenta como un superconjunto compatible con Antiope-Télétel y Telidon, lo que será bien aceptado por los franceses, canadienses y representantes de ATT. En el continente estadounidense, la solución británica se ignora. La norma ATT es considerada por los expertos como excelente desde el punto de vista funcional, y está encarada francamente hacia el futuro si se consideran las evoluciones previstas en el campo de la electrónica. El coste del terminal se estima del mismo orden que el Telidon (sin duda ligeramente más elevado teniendo en cuenta el complemento de software indispensable para tratar las novedades introducidas, esencialmente modos alfanuméricos con parámetros específicos y gestión por macroinstrucciones). Por desgracia, presenta incompatibilidades con la filosofía europea: la estructura de codificación del sistema ATT es *cerrada* (es decir, se han concedido todas las posiciones de código en las tablas). Sin duda, esto será objeto de controversia porque bloquea la evolución del sistema. Esta estrategia es diametralmente opuesta a la de puertas abiertas, en la que se dispone de numerosas posibilidades de ampliación (a menudo llamados «códigos de escape») a todos los niveles para asegurar las ulteriores evoluciones, inevitables, sin tener que revisar la norma precedente (esto, tal como se ha visto, es muy importante en Europa cuando un nuevo «cliente» desea introducir algunas de sus ideas en el sistema). Entre las propuestas ATT y la norma europea hay algunas incompatibilidades de codificación probablemente solubles por negociación porque, según parece, la ATT no ha procedido aún a desarrollo alguno a gran escala. Efectivamente, lo que piden los europeos en la actualidad es sencillo: que la norma ATT se modifique ligeramente para que la europea (o sea los modos alfanuméricos) constituya un subconjunto de la misma. Desde el simple punto de vista de la comunicación mundial, resultaría útil y económico manipular los mensajes de acuerdo con una sola norma.

En cuanto a las perspectivas industriales en Europa, y en Francia en particular, son considerables. El ambicioso proyecto de un anuario electrónico (que permitirá remplazar los de papel por un terminal de consulta a domicilio, puede hacer que en Europa surjan verdaderas potencias industriales en el campo de los terminales alfamosaicos. El mercado estadounidense interesa a la industria europea, y el proyecto apuntado no es en modo alguno irrealista, en la medida en que las bases de datos y otras aplicaciones en las que bastan los textos solos (y no imágenes), en estos momentos ya están bien desarrollados en Estados Unidos. El terminal videotex de tipo anuario electrónico francés, por ejemplo, además de tener un coste relativamente bajo, presenta la ventaja de no necesitar una instalación de transmisión rápida específica (la red conmutada es adecuada). Por tanto, la telemática de gran difusión debería encontrar en Estados Unidos un terreno favorable.

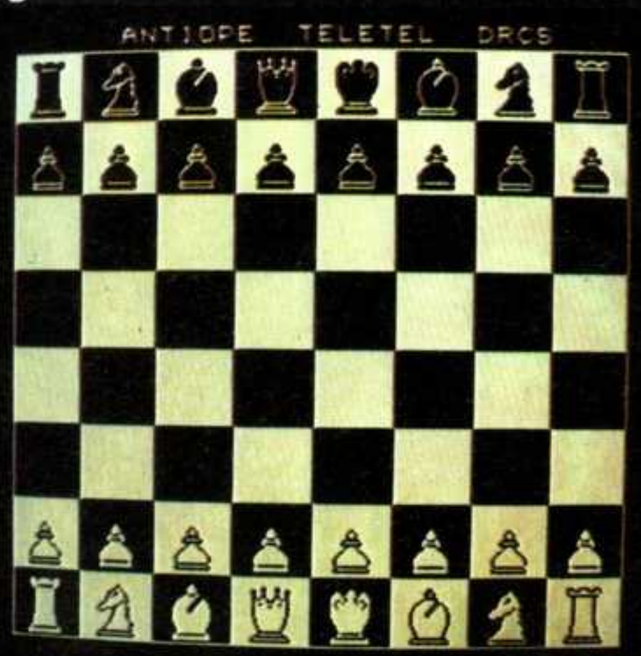
Alain Poignet.

Figuras 7, 8 y 9. **Actualmente, los europeos están poniendo a punto una técnica original, el DRCS. El DRCS (Dynamical Redefinable Character Set) es una ampliación de los sistemas alfanuméricos que mejora considerablemente las posibilidades gráficas, sin aumentar de forma sensible el precio del terminal. Probablemente, esta variante ya estaría introducida en Europa si no fuese porque, desde hace tres años, aún se discute sobre ¡uno de los parámetros del sistema!** (Fotos CCETT.)

7



8



9

Los biotransistores: la microelectrónica del siglo XXI

por Joël de Rosnay

Joël de Rosnay ha sido profesor del Massachusetts Institute of Technology. Premio de la Academie des Sciences Morales et Politiques. Desde 1975 pertenece al consejo de dirección del Institut Pasteur.

■ En el plano internacional, las técnicas biológicas suscitan un interés considerable. Debido a los recientes y espectaculares resultados y a sus prometedoras aplicaciones industriales, en general se tiene la tendencia a reducir el conjunto de las biotecnologías únicamente al campo de la ingeniería genética. Sin embargo, existen en el mundo muchos otros caminos que se están siguiendo: cultivos celulares vegetales y animales, *hibridomas*, enzimas fijadas, membranas fotosintéticas artificiales, aparatos (como las máquinas para sintetizar genes, analizadores de proteínas, seleccionadores de moléculas, contadores de células, etc.) o ultramicrotécnicas. Por su parte, la informática, y sobre todo la microinformática, se aplican cada vez más a la biología, en especial a los bancos de genes, al tratamiento de la información genética (análogo al tratamiento de textos) y al reconocimiento de formas, por ejemplo para el contado de células.

Las aplicaciones nacidas del maridaje de la biología con la informática son numerosas. Por analogía con otras aplicaciones más conocidas de la informática, como la telemática o la robótica, podría proponerse que este nuevo sector en desarrollo se denominase «la biótica».[1] Entre los caminos más prometedores de la biótica, uno de ellos merece una atención muy particular. Se trata de una tecnología híbrida que conduce al desarrollo de semiconductores moleculares (químicos o biológicos —que en este caso son verdaderos «biotransistores»), susceptibles de ser ensamblados en componentes de tamaño muy reducido (Very Small Devices o VSD). Algunos nuevos procedimientos técnicos, que recientemente aparecieron en este campo, han abierto el camino a la realización a largo plazo (20-30 años) de ordenadores «químicos» o «biológicos», cuyos componentes, las memorias, la lógica y las funciones, se inspirarían en los circuitos y procesos de los sistemas vivientes.

Aunque muy prospectivas, estas aplicaciones no proceden de la ciencia-ficción. Han sido discutidas, confrontadas y evaluadas por biólogos, químicos, físicos y especialistas en circuitos integrados, en su mayor parte estadounidenses y pertenecientes a laboratorios universitarios e industriales o a agencias gubernamentales, en el marco de dos coloquios celebrados recientemente en Estados Unidos.[2] Un sintoma característico del interés que suscitan estas técnicas es la aparición de publicaciones dedicadas al tema, los esfuerzos de los laboratorios como Bell Laboratories, M.I.T., Lincoln Laboratory, y Laurence Livermore National Laboratory, así como la importancia de los créditos para la investigación o de los contratos procedentes de organismos gubernamentales (como National Science Foundation) o de empresas de informática y fabricación de semiconductores (IBM, INTEL, AMF y General Electric).

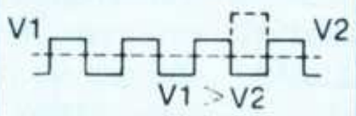
En la frontera de los circuitos integrados clásicos

Para comprender los rápidos desarrollos de los dispositivos electrónicos moleculares y biomoleculares (Molecular and Biotechnical Electronic Devices), es preciso describir brevemente la reciente evolución de la informática y de los circuitos integrados con el fin de señalar los límites alcanzados por las tecnologías empleadas y las razones que empujan hacia una nueva generación de circuitos (Mundo Científico, nº 3, p. 324, 1981).

El espectacular éxito de la microelectrónica se ha basado principalmente en la producción en masa, que ha permitido reducir el tamaño y disminuir el coste de los circuitos integrados, al mismo tiempo que aumentaba su complejidad, fiabilidad y velocidad. La integración a gran y muy gran escala (LSI y VLSI) permite unas densidades que llegan a ser de 10^5 y pronto alcanzarán $2{,}5 \times 10^5$ componentes por mm^2. El impacto de esta integración ha sido considerable, aunque los expertos están de acuerdo en pensar que actualmente ya se han alcanzado los límites de las tecnologías empleadas, y esto por varias razones: aumento de los costes del ensamblaje de los microcircuitos, multiplicación de los puntos de conexión y de los elementos de interconexión, imposibilidad de incrementar las velocidades de tratamiento, consumo de energía aún elevado y limitada resolución de las máscaras empleadas en la fabricación de los circuitos. Estos límites tecnológicos, tal como ha predicho recientemente Gordon Moore de la sociedad INTEL, harán que el coste por bit de los microcircuitos se estabilice a finales de 1985, mientras que no han cesado de disminuir desde su aparición a principios de la década de los setenta. Teniendo en cuenta la importancia del mercado de los microcircuitos (unos 2,4 billones de pesetas), deben explorarse nuevas vías para superar este nuevo desafío tecnológico. La investigación de los componentes moleculares es una de las posibilidades que se anuncian como más prometedoras. Efectivamente, además de las diferentes entidades ya indicadas, biólogos, químicos y físicos han intercambiado sus conocimientos sobre las estructuras celulares (membranas, mitocondrios, cloroplastos y microtúbu-

(1) J. de Rosnay, «La biotique», *L'Expansion*, 1/21 de mayo de 1981, p. 149.
(2) Workshop on opportunities for microstructures science, Airlie Virginia EE.UU., 19-22 de noviembre de 1978 (abreviación: *WOMS 78*); Workshop on Molecular electronic devices, Washington DC, 23-24 de marzo de 1981 (abreviación: *WMED 81*).
(3) F.L. Carter, NRL Memorandum Report 3960, 30 de marzo de 1979, pp. 121 a 175 y NRL Memo 4335, pp. 35 a 52, 15 de septiembre de 1980.
(4) A.A. Bright y otros, *Appl. Phys. Lett., 26*, 612, 1975.
(5) H. Shirakawa y otros, *Chem. Commun.*, 578, 1978.
(6) C.K. Chiang y otros, *J. Am. Chem. Soc., 100*, 1013, 1978.
(7) A.G. Mac Diarmid y A.J. Heeger, WMED, 23 de marzo de 1981.

Ejemplos de transportes de señales en el interior de los componentes moleculares

partícula	distancia Nm = nanómetro	estructura	fenómenos	conmutación
H^-, H^+	0,3 Nm	enlace de hidrógeno asimétrico	partículas de «efecto túnel» diodo molecular	reversión de potencial
H atómico	5 Nm	cadena de enlace de hidrógeno	doble transferencia de protones	campo eléctrico + $h\nu$
fotón	3,5 Nm	dipolo-dipolo	excimador	devolución del dipolo
excitón	5 Nm	1, 2, 3, dimensionales	excitación electrónica colectiva	alternancia de la trampa de electrones
fonón	10 Nm	cadena polimera	vibración	desconexión de la cadena
solitón vib.	70 Nm	cadena de hélice α	onda solitaria vibracional	trampa vibracional
electrón	30 Nm		«efecto túnel» periódico	pozo-barrera
solitón + Q	60 Nm		onda polarizada solitaria	trampa de transferencia de carga

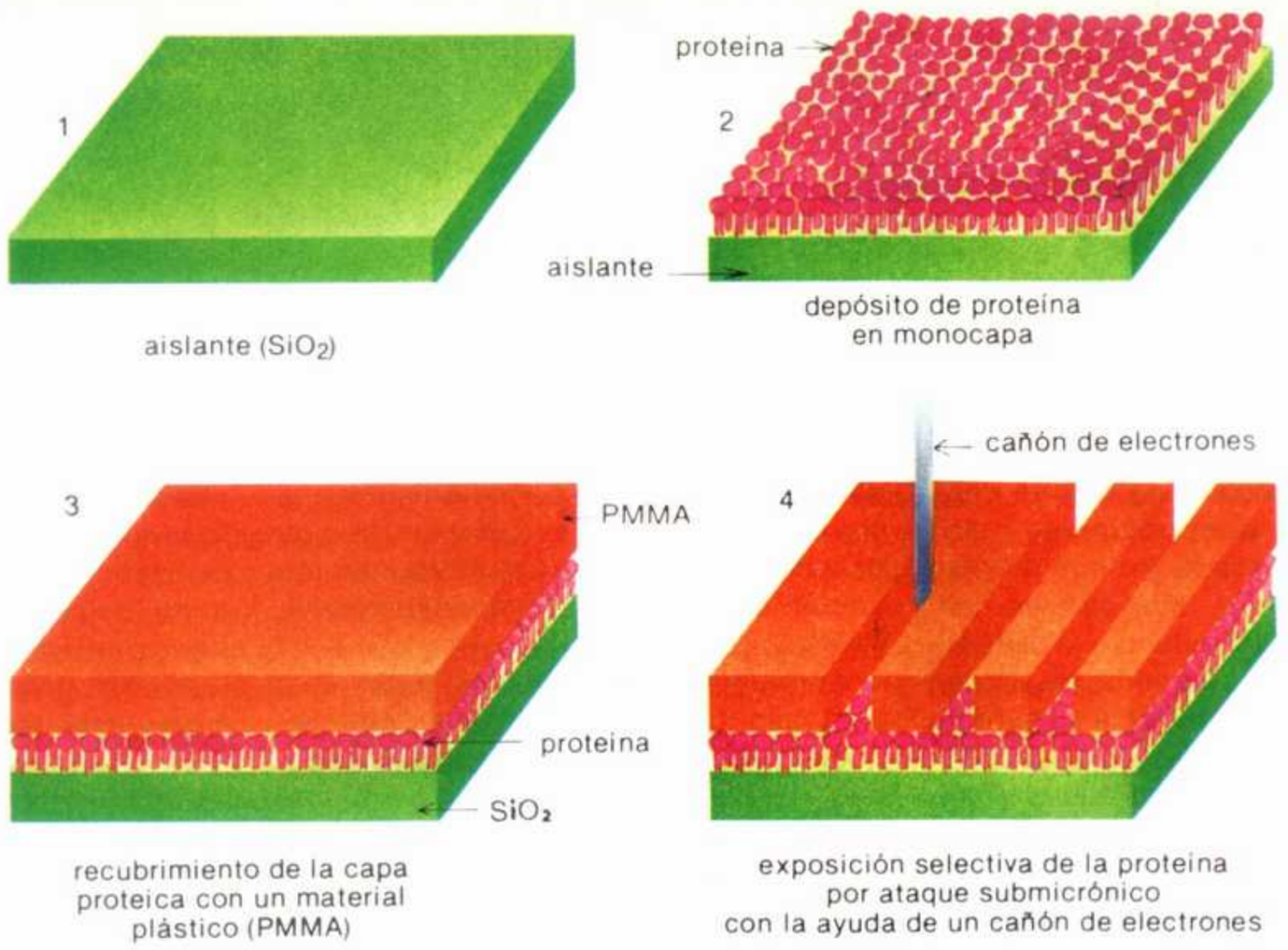


Figura 1. **La técnica de producción de los ultramicrocircuitos biomoleculares es análoga a la de la producción de los microcircuitos actuales: depósito de capas delgadas, ataque, dopado. Se empieza por depositar una proteína (la polilisina, por ejemplo) sobre un soporte inerte (silicio)** (1-2). **Después se cubre la proteína con una capa plástica aislante de polimetil metacrilato (PM MA)** (3). **Empleando un cañón de electrones guiado por ordenador, se forman unas estrías espaciadas entre 200 y 250 nanómetros que forman una red predeterminada** (4). **Seguidamente se disuelven las zonas expuestas con alcohol, descubriendo así los agrupamientos aminados libres de polilisina. En estos agrupamientos es posible fijar, mediante depósitos sucesivos, cualquier enzima (por ejemplo las enzimas del sistema de transporte de electrones) o cualquier otra proteína (natural o sintética)** (5). **También puede depositarse cualquier metal conductor empleando, por ejemplo, reacciones conocidas desde hace tiempo en la ultracitoquímica** (6) **(por ejemplo, un depósito de hierro gracias a la peroxidasa unida a los anticuerpos).**

los), los polímeros biológicos (ADN y proteínas), los polímeros orgánicos conductores y semiconductores y los transferidores de electrones en diferentes materiales.

¿Con qué se reemplazará el silicio?

Estos materiales moleculares tienen la ventaja de ofrecer una gran variedad de sistemas de transporte de energía, susceptibles de ser reemplazados para la conmutación de señales (switching devices): moléculas excitadas, iones, fotones, fonones, excitones y magnones, así como «huecos» y electrones, como en los semiconductores. La variedad de los fenómenos de conmutación a escala molecular también es muy grande: apertura y cierre de enlaces químicos, transformaciones moleculares, cambios de conformación, estados electrónicos o magnéticos excitados y estados vibracionales o rotacionales[3] (cuadro 1).

En los últimos años se han realizado importantes progresos en el campo de los polímeros naturales y artificiales, conductores y semiconductores, así como en la modificación de su conductividad. Entre los polímeros más estudiados actualmente figuran los politiacilos $(SN)_x$ y el poliacetileno $(CH)_x$ y sus derivados. También se han estudiado otros materiales tales como el benceno cristalino, el naftaleno, las poliftalocianinas o sales a base de tetracianoquinodimetano.

El $(SN)_x$ puro es un conductor a la temperatura ambiente, con una conductividad medida paralelamente a las cadenas polimerizadas de aproximadamente 3×10^3 ohm/cm.[4] El $(CH)_x$ puro es un semiconductor. Mediante dopados químicos, la conductividad eléctrica de las películas de poliacetileno puede variar en un orden de magnitud de 13, oscilando desde un aislante (conductividad de 10^{-12} ohm/cm) a un semiconductor (conductividad superior a 2×10^3 ohm/cm.)[5,6,7] En particular, gracias a los semiconductores orgánicos, recientemente se han propuesto, estudiado y desarrollado los equivalentes moleculares de los diodos, dispositivos de conmutación, memorias y varios circuitos lógicos, como el de los circuitos NOR.[8]

Los polímeros compuestos también presentan propiedades interesantes. Pueden emplearse proteínas naturales o sintéticas como revestimiento de base de un soporte aislante. Descubriendo de forma selectiva los agrupamientos activos de estas proteínas, previamente cubiertos con una película plástica, pueden depositarse metales conductores (como plata, plomo, platino, paladio, osmio o rutenio), o injertar otros agrupamientos con actividad catalítica.[9] Estas monocapas de proteínas pueden ser orientadas de manera que su ensamblaje constituya una ultraestructura definida, análoga a la que se encuentra en las células vivas.[10] La técnica general de preparación de estos ultramicrocircuitos ha sido patentada recientemente[11] por una pequeña empresa de alta tecnología, EMV Associates, del Estado de Washington (V. fig. 1).

La puesta a punto de las técnicas de integración a escala gigante

Actualmente, varios laboratorios intentan sintetizar proteínas que no existen en la naturaleza y poseen propiedades «a medida», especialmente para la obtención de microsuperficies catalíticas o para la realización de ultramicrocircuitos. Estas síntesis han sido posibles gracias a las actuales técnicas de ingeniería genética, a las síntesis automáticas de genes y proteínas y a la obtención de modelos con ordenador de la estructura bi y tridimensional de las secuencias de los aminoácidos. De esta manera podrían crearse y producirse en serie una gran variedad de bioconductores y ultramicrocircuitos. Además de sus dimensiones muy reducidas, estos circuitos presentarían numerosas ventajas. Principalmente podrían hacerse biocompatibles y permitirían, así, la fabricación de circuitos lógicos implantables que ofrecerían, a largo plazo, una posibilidad de acoplamiento directo entre el sistema nervioso central de los animales o del hombre y los ordenadores. Los circuitos biocompatibles de este tipo están en curso de desarrollo en EMV Associates en vistas a su implantación al sistema nervioso de las ratas. Para estos microcircuitos se prevén otras aplicaciones: fabricación de prótesis para invidentes, transductores diversos, o convertidores solares sobre hojas de plástico flexibles.

Por tanto, las técnicas de mecanización y ensamblaje submicrónicas abren el camino al desarrollo de ultramicrocircuitos moleculares y biomoleculares que poseen unas dimensiones comprendidas entre 10 y 25 nanómetros.[12] En consecuencia, ya no se trata de integración a muy gran escala (VLSI), sino

(8) Comunicaciones durante la WMED del 23 de marzo de 1981: Ari Aviram y otros (IBM y Northwestern University), «Theoretical and experimental studies of hemiquinones and comments on their suitability for molecular information storage elements»; R.C. Haddon y F.H. Stillinger (Bell Lab., N.J.), «Molecular memory and hydrogen bonding»; R.S. Potember y otros (John Hopkins University), «Reversible field induced switching in copper and silver radical ion salts»; F.L. Carter, «Conformational switching at the molecular level».

(9) En la WMED, J.H. McAlear y J.M. Wehrung (EMV Associates Inc., Rockville, Maryland) y J.S. Hanker y B.L. Giammara.

(10) Actas de la WOMS, 1978: H.P. Zingsheim, «Molecular engineering using nanometer surface microstructures»; L. Powers, «Membranes and membrane proteins».

(11) J.H. McAlear y J.M. Wehrung, patentes U.S. nº 4.103.064 y nº 4.103.073, 25 de julio de 1978.

(12) En la WOMS, 1978: S. Triebwasser, «Today and tomorrow in microelectronics»; A.N. Broers, «Current state of the art of the microstructure fabrication».

de una integración a escala gigante (GSI). Se prevé que se conseguirán unas densidades de elementos por unidad de volumen comparables a las observadas en las ultraestructuras biológicas. Por ejemplo, las unidades responsables de la fotosíntesis en las hojas, que miden cada una 20 nanómetros de diámetro por 8 nanómetros de espesor, se apilan formando conjuntos que alcanzan densidades de 10^{12} unidades por mm^2. Otro ejemplo: la compactación de los microtúbulos en las neuronas corresponde a densidades de 3×10^{15} unidades por mm^2. El grosor de las membranas de las células es de unos 5 nanómetros, y el de las proteínas catalíticas que hay incluidas en aquellas está comprendido entre 5 y 8 nanómetros. Se han podido grabar estrías de 1,5 nanómetros de anchura y espaciadas 9 nanómetros sobre un material molecular de 20 a 30 nanómetros de espesor.[13] Ésta es la medida del límite extremo de las dimensiones que podrían alcanzar los ultramicrocircuitos moleculares.

Si un elemento de conmutación, con sus circuitos y aislamientos, pudiese encerrarse en un volumen de 10 nanómetros cúbicos, el número de elementos de circuitos moleculares contenidos en 1 cm^3 sería ampliamente superior, según Forrest L. Carter[3], a todos los elementos de las memorias de ordenador fabricados hasta la fecha. Con las técnicas submicrónicas biomoleculares podrían obtenerse densidades de 10^{15} elementos por cm^3. Esta densidad tan elevada tendría una influencia determinante sobre las velocidades de tratamiento. En efecto, en un circuito molecular tridimensional, una transferencia de información a lo largo de la arista de 1 cm de lado se realizaría en 34 picosegundos. Esto, comparado con los 3,5 nanosegundos correspondientes a 1 m de hilo conductor, representa una mejora del orden de un factor de 100.

De la molécula al circuito: un problema de ensamblaje

Naturalmente, al igual que en los circuitos actuales, se plantea el problema de las conexiones y de los elementos de enlace de los ultramicrocircuitos con el exterior. Es evidente que no pueden emplearse conexiones con hilos conductores. Un posible camino consistiría en emplear enlaces de tipo óptico.[3] En efecto, es posible transformar impulsos electrónicos en señales ópticas mediante redes de cromóforos moleculares orientados. Al ser excitados, estos cromóforos emiten luz en una dirección privilegiada. Si estos dipolos se orientasen paralelamente, la emisión de uno de ellos podría provocar la del otro. Si estos cromóforos pudiesen excitarse simultáneamente, se obtendría como resultado un efecto de sincronización que conduciría a la obtención de una fuente débil del tipo láser altamente direccional. La señal de este láser molecular podría captarse, amplificarse y tratarse mediante detectores adecuados.

Evidentemente, antes de que estos ultramicrocircuitos moleculares puedan emplearse en los ordenadores «químicos» o «biológicos» posteriores al año 2000, deberán vencerse unas dificultades considerables. De momento, el ensamblaje de estos circuitos aún plantea unos problemas enormes. Para su fabricación es preciso que prosiga el desarrollo de las técnicas de mecanizado submicrónico o de «ingeniería molecular», que permitan orientar capas de polímeros artificiales o de proteínas en estructuras regulares.

La fabricación y el ensamblaje de estos circuitos moleculares pueden preverse de acuerdo con dos planteamientos: uno «pasivo» (depósitos sucesivos, decapado, injerto y dopado) como las tecnologías parecidas a las que se emplean actualmente en la fabricación de los microcircuitos; el otro, «activo», sería por «crecimiento» espontáneo del circuito molecular. Las máquinas automáticas utilizadas en la actualidad para sintetizar o analizar genes y proteínas ofrecen modelos nuevos con los que es posible inspirarse para automatizar las operaciones sucesivas de la fabricación de los circuitos moleculares: crecimiento de los polímeros, lavados sucesivos, reacciones con otros agrupamientos activos y bloqueos y reactivaciones de agrupamientos químicos. Sin embargo, a una escala en que la presencia o ausencia de un solo enlace químico puede afectar las características de un circuito entero, es prácticamente imposible construir y ensamblar circuitos con las técnicas tradicionales de control microscópico. Se hace necesario utilizar la capacidad de autoensamblaje de las macromoléculas biológicas tal como se manifiesta, por ejemplo, en el caso de la autoorganización de los virus u orgánulos celulares previamente disociados. En otras palabras, en lugar de introducir la información desde el exterior de los sistemas que se intentan transformar por mecanizado (por ejemplo en las prensas, los tornos e incluso en los autómatas utilizados para la construcción de automóviles), la audaz propuesta hecha por ciertos especialistas del mecanizado submicrónico es la de emplear con preferencia la información interna de los biopolímeros.[14] Esta información, encerrada por ejemplo en la secuencia primaria de los aminoácidos, permite, como es sabido, el replegado tridimensional de una proteína. Por tanto, de esta forma podrían aprovecharse propiedades de las macromoléculas biológicas para ensamblar ultramicrocircuitos moleculares tridimensionales.

El problema del mantenimiento y el servicio posventa

Otro problema fundamental en el que presenta la fiabilidad de los circuitos moleculares. Una de las principales razones del éxito de los modernos ordenadores es la extraordinaria fiabilidad de sus componentes electrónicos. En comparación con las válvulas de vacío de los años cincuenta, la tasa de averías por componente se ha reducido en un factor de 10^5. Es posible que la tasa de averías de los circuitos moleculares sea superior, y que los circuitos no sean nunca tan fiables como los componentes actuales. Probablemente, por tanto, será necesario volver a plantear de nuevo la arquitectura de los ordenadores que empleen ultramicrocircuitos moleculares. Por ejemplo, será necesario duplicar circuitos, cálculos y tratamientos; reservar capacidad de tratamiento para verificar de forma permanente los componentes, identificar los defectuosos y dejarlos fuera del circuito.

Aún quedan en pie otras preguntas: ¿serán reparables estos ultramicrocircuitos? ¿Podrán romperse y volverse a establecer los enlaces químicos? ¿Deberá continuarse con la utilización de la lógica booleana empleada actualmente o, por el contrario, inspirarse en modelos de circuitos de neuronas? Probablemente, estos circuitos funcionan de forma no booleana y emplean tratamientos en paralelo. Para construir la lógica del futuro, quizá será muy fecunda la convergencia entre la neurobiología molecular y la microinformática, actividades punta de la biótica.

Los ultramicrocircuitos moleculares y los biotransistores pueden proporcionar un considerable impulso a numerosos dominios de la química biológica, la física del estado sólido y la informática en general. Se trata de un sector interdisciplinario por excelencia, en el que Francia ha obtenido algunos éxitos, especialmente en biología molecular, física del estado sólido y química orgánica.

Por otra parte, la evolución de la biótica parece irreversible. En un plazo de cincuenta a cien años, esta evolución es posible que nos conduzca al hombre «simbiótico», con su sistema nervioso conectado directamente a ordenadores miniaturizados capaces de interrogar a cualquier memoria gigante desde cualquier lugar o de comunicarse directamente con cualquier persona. Esto es ciencia-ficción, pero la rapidez de los desarrollos actuales puede considerarse como prospectiva científica.

Joël de Rosnay.

(13) M. Isaacson y A. Muray, WMED, 1981.
(14) K.M. Ulmer (Genex Corporation, Rockville, Maryland), WMED, 1981.

La fisiología de la inmersión

por Maurice Hugon

Maurice Hugon es profesor de psicofisiología en la Universidad de Aix-Marsella I y II. Desde 1978 dirige el Grupo de Interés Científico (GIS) de Fisiología Hiperbárica(1) de Marsella y el ERA-CNRS 272.

■ La conquista del medio marino y su explotación han supuesto la intervención humana a profundidades cada vez mayores. Pero la incursión bajo el agua no se produce sin dificultades. Las altas presiones originan problemas respiratorios y, sobre todo, trastornos nerviosos, que deben ser superados al tiempo que se conserva una alta capacidad de trabajo.

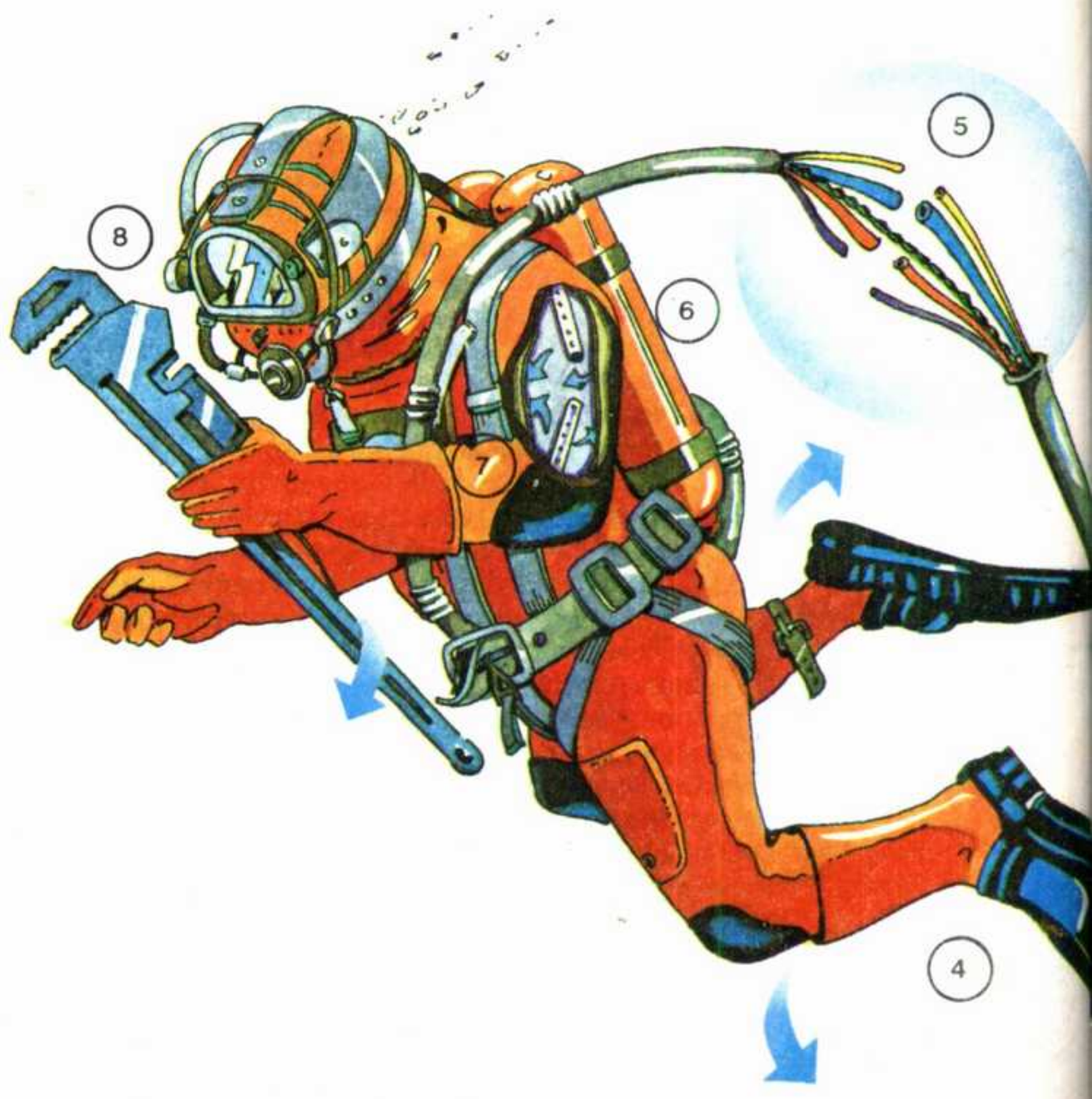
■ Las investigaciones de estos últimos años han permitido resolver ya una parte de las dificultades. Hoy, el hombre puede operar perfectamente a 300-400 m y no es descabellado pensar que los estudios sobre fisiología humana habrán de permitir más progresos en cuanto a profundidad de acción con total seguridad biológica.

■ La incursión del hombre bajo el agua ha estado determinada desde hace mucho tiempo, y aún hoy, por necesidades económicas, y los medios y la eficacia de la inmersión han progresado al ritmo de dichas necesidades. Sabido es cómo se efectuaba, y se efectúa, la recolección submarina de esponjas, corales y demás: el buceador llena sus pulmones y desciende en apnea —sin respirar— arrastrado por un lastre auxiliar. Trabaja en el fondo unos segundos y vuelta a ascender: la operación no ha durado más de dos o tres minutos, en inmersiones que se miden en unidades más que en decenas de metros.

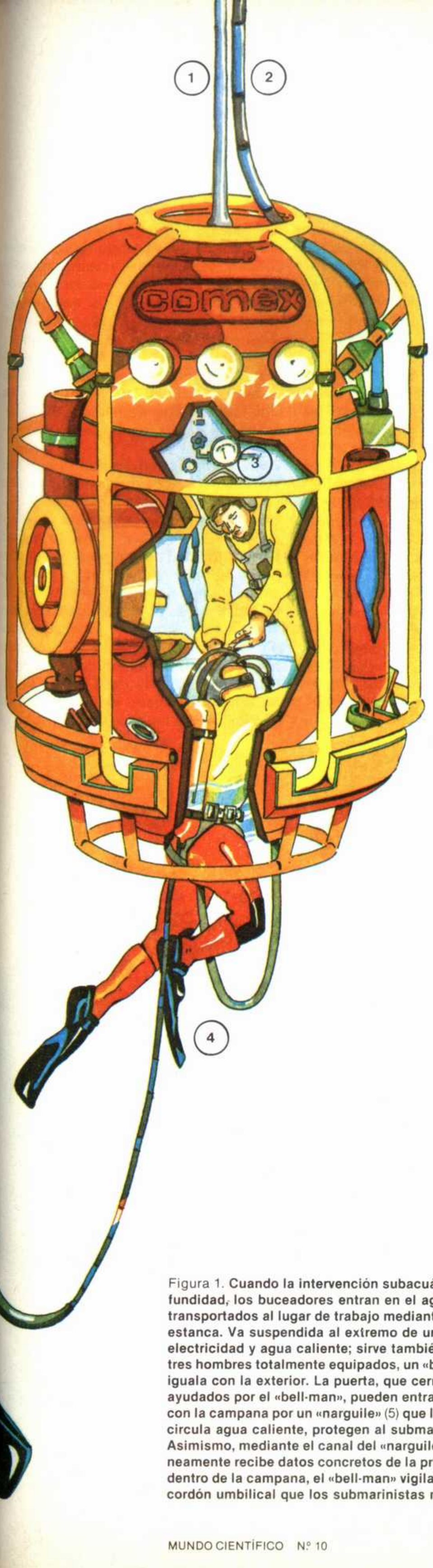
Los trabajos de ingeniería civil han exigido más: la construcción de viaductos ferroviarios y otras obras de gran envergadura han hecho que fuera necesario a veces trabajar durante varias horas a varias decenas de metros de profundidad. El empleo de segmentos tubulares de hierro, que se añaden desde lo alto para formar una gran chimenea que se hunde a medida que el suelo se excava en la base, fue la primera respuesta de uso general a esta nueva necesidad industrial. En el interior del «tubo» se mantenía una presión de aire suficiente para expulsar el agua en la base, donde trabajaban los operarios, la entrada y salida de los cuales se efectuaba por dos esclusas de aislamiento, de las cuales una se reservaba para la descompresión. Este sistema ya ponía en práctica el principio del trabajo en «equipresión»: el aire se respiraba a una presión igual a la hidrostática ambiental.

El área de trabajo subacuático se ha extendido luego mar adentro, a cierta distancia de la costa, operación iniciada a partir de 1930 en México; hoy, las perforaciones submarinas buscan el petróleo a 300 m de profundidad o más, prácticamente en todos los mares del globo, dentro de la plataforma continental. La perforación propiamente dicha se lleva a cabo con equipos de superficie fijos o flotantes y por medios completamente mecanizados. Sin embargo, diversas operaciones de instalación, de vigilancia y de reparación del material de explotación requieren la intervención inventiva y experta del profesional humano, del buceador.

Esta intervención no puede realizarse sin dificultades: el agua está fría: 11 °C de media y en ocasiones solamente unos grados, reina la oscuridad y, a menudo, la arena levantada oscurece la visión en el campo de los proyectores. El empuje de Arquímedes y las corrientes complican la ejecución del trabajo. Y al estar todo fallo —material o humano— plagado de graves consecuencias, la inmersión se desarrolla siempre en una atmósfera de gran atención, que dificulta aun más el trabajo. Con todo, son los problemas fisiológicos ligados a la presión los que determinan las características esenciales de los procedimientos de inmersión. En la inmensa mayoría de los casos prácticos actuales, el buceador va equipado con un traje flexible complementado con un casco por el que recibe la mezcla respiratoria necesaria (fig. 1). Se trata de una mezcla artificial, compuesta de helio y oxígeno, que evita los efectos tóxicos y narcóticos del aire simplemente comprimido, y que, para que la presión intrapulmonar y la presión ambiental sean iguales, se suministra a la presión hidrostática ambiente. El uso del equipo flexible permite al submarinista una gran libertad de movimientos, pero el respirar una atmósfera a gran presión tiene consecuencias fisiológicas graves (véase cuadro 1). Desde el punto de vista práctico, lo esencial es lo siguiente: cuando está trabajando en el fondo, el buceador se satura del gas comprimido que debe ser eliminado durante la descompresión. El mayor riesgo está en la coalescencia de las burbujas de descompresión, que



(1) El GIS de Fisiología Hiperbárica dispone de equipos de inmersión concebidos y organizados por G. Imbert. Las Universidades de Aix-Marsella I y II y el CNRS cooperan con este grupo en programas de investigación dedicados al estudio de la fisiología de los mamíferos a grandes presiones (profundidades simuladas: 0-1 200 m). La DRET y el CNEXO subvencionan estos programas, que se coordinan con los de inmersión humana.



pueden producir una embolia gaseosa, riesgo que se evita con una descompresión muy lenta: del orden de 50 metros por día. Así, no se trata ya de que el ascenso se efectúe en aguas libres, como en el caso de la inmersión denominada «deportiva». Es necesario un equipo de servicio, que comprende una cámara fija en la superficie y una cámara móvil, la campana, que lleva a los buceadores a la zona de trabajo. Esquemáticamente, el procedimiento cursa como sigue: al principio la campana está unida a un extremo de la cámara fija (fig. 2). Los buceadores —normalmente dos buceadores y un auxiliar— entran en la cámara, que está provista además de todos los equipos internos necesarios para una vida confinada durante varios días. La presión del conjunto cámara-campana se iguala a la del lugar de trabajo por adición de helio; la velocidad de la compresión es variable, según las exigencias de profundidad y de trabajo, pero se mide en decenas de metros por hora. Conseguida la equipresión, la campana se abre y los buceadores pueden salir (fig. 1). Un «cordón umbilical» asegura el abastecimiento de gases y calorías y la comunicación fónica con la campana. El auxiliar —el *bell-man*— supervisa a los buceadores y el cordón y asegura el enlace entre los submarinistas y la superficie, donde la inmersión es seguida mediante una auténtica logística de vigilancia.

El trabajo en el fondo se ejecuta en secuencias de varias horas, lo que requiere cualidades físicas de primer orden. Al final de una «jornada» en el fondo, la campana remonta a los buceadores sin descompresión y va a unirse de nuevo a la cámara. Los hombres salen y descansan, siempre bajo presión. Así, pueden encadenarse varias jornadas de trabajo, antes de que empiece en la cámara la descompresión final. A partir de los 200 m se necesitarán cinco días. Los hombres habrán vivido varios días, a veces más de una semana, en estrecha convivencia, en un medio restringido y en una atmósfera de alto riesgo: este trabajo representa una verdadera aventura tecnológica, pero también psicológica y, por supuesto, fisiológica. Consideraremos a continuación los grandes rasgos de la neurofisiología de la inmersión hasta la saturación.

El síndrome nervioso de las altas presiones

La organización y el adecuado funcionamiento del «sistema de máquinas y hombres» serían estériles si el submarinista, llegado al lugar de trabajo, se encontrara limitado en su capacidad muscular o nerviosa. El mantenimiento de la fuerza muscular precisa de una respiración suficiente, tanto en el intercambio de gases como en la utilización tisular del oxígeno por el organismo (véase cuadro 1). Al parecer el intercambio gaseoso no se ve afectado, al menos para un trabajo ligero, hasta 500-600 m de profundidad. Sin embargo, el equipo de Broussolle (CERB-HIA, Sainte Anne, Toulon) ha constatado en el curso de una inmersión reciente a 450 m (inmersión ENTEX V) que la carga ventilatoria podía limitar la capacidad de trabajo, aun en cámara seca y con submarinistas entrenados.

En cambio, los trastornos de naturaleza nerviosa aparecen a partir de los 200 m de profundidad ficticia en cámara con helio. Estos desórdenes no se deben a falta de oxígeno, ni a un fallo en la eliminación del anhídrido carbónico, sino a la acción propia de la presión. Una compresión rápida (100 m de profundidad/hora o más) por inyección de helio en presencia de 0,2-0,4 atmósferas de oxígeno induce temblores, vértigos, náuseas, etc, sintomatología que constituye el «síndrome nervioso de las altas presiones» (SNHP). Fue definido en 1969 por Fructus, Naquet y Brauer consiguientemente a las observaciones llevadas a cabo en el centro experimental hiperbárico (CEH) de la COMEX en Marsella, bajo la iniciativa de H. Delauze, en virtud de los cuales apreció que el simio manifiesta un SNHP semejante al del hombre. La descripción más perfecta del SNHP en los primates se debe a J. C. Rostain (1980). Los gatos, roedores, rumiantes, cerdos enanos, etc. manifies-

Figura 1. **Cuando la intervención subacuática se limita a unas decenas de minutos y se efectúa en fondos de menos de cincuenta metros de profundidad, los buceadores entran en el agua desde la superficie. Cuando la duración es más larga o la profundidad mayor, los buceadores son transportados al lugar de trabajo mediante una campana de inmersión. Ésta no es sino un recinto de acero que se abre en su base por una puerta estanca. Va suspendida al extremo de un cable de arrastre** (1). **Un cordón umbilical** (2) **permite el suministro de la mezcla gaseosa respiratoria, electricidad y agua caliente; sirve también para la transmisión de las comunicaciones telefónicas y para algunas mediciones. Pueden ocuparla tres hombres totalmente equipados, un «bell-man»** (3) **y dos buceadores** (4). **Cuando la campana ha llegado al nivel de trabajo, la presión interior se iguala con la exterior. La puerta, que cerraba herméticamente por efecto de la presión externa, se abre entonces sin esfuerzo y los buceadores, ayudados por el «bell-man», pueden entrar en el agua. A lo largo de toda la duración de su inmersión, estos buceadores permanecen en conexión con la campana por un «narguile»** (5) **que les suministra la mezcla respiratoria y agua caliente. Un calefactor de gas y un traje térmico** (7), **por el que circula agua caliente, protegen al submarinista de la pérdida de calorías respiratorias y cutáneas.**
Asimismo, mediante el canal del «narguile» los buceadores permanecen enlazados telefónicamente con el «bell-man» y la superficie, que simultáneamente recibe datos concretos de la profundidad a que se encuentran en cada momento (careta facial (8) **con micrófono y auriculares). Siempre dentro de la campana, el «bell-man» vigila el correcto suministro de mezcla gaseosa a los buceadores y el mantenimiento de la longitud exacta de cordón umbilical que los submarinistas necesitan para trabajar cómodamente.** (Procedencia COMEX.)

¿Se puede aumentar la velocidad de compresión sin comprometer el estado fisiológico y la eficacia de los buceadores?

tan también problemas neurológicos hiperbáricos.

El síndrome, que varía en sus detalles de una especie a otra, e incluso de un individuo a otro, comprende inicialmente una hiperactividad (hipertonía) anormal de los músculos que sostienen la nuca o el cuerpo. Por debajo de los 200 m, se desarrolla un temblor rápido (8-12 Hz), de poca amplitud, ausente en resposo, pero presente en los músculos que intervienen en el mantenimiento de la postura o en el control de los movimientos. Cuando aumenta la presión se producen sacudidas musculares, al principio localizadas, breves y poco frecuentes, pero que después son más intensas, más duraderas y presentes al mismo tiempo en varios músculos: constituyen las «mioclonias», imprevisibles y que se manifiestan tanto en los músculos en reposo como en los músculos en acción. Paralelamente a este aumento de los trastornos motores, se modifica el electroencefalograma: el análisis de las frecuencias que lo componen revela una disminución de la potencia de las altas frecuencias (por ejemplo 10 Hz), un desarrollo progresivo de las frecuencias bajas (4-7 Hz), una reducción de la vigilancia y del sueño profundo que son sustituidos por estados de somnolencia o de sueño superficial. Hasta unos 500-600 m no hay una correlación marcada entre el electroencefalograma y los trastornos motores. Más abajo, es decir, hacia 600-800 m las ondas electroencefalográficas, amplias y repetitivas, se asocian a episodios motores de carácter epiléptico. El conjunto compromete la supervivencia del individuo; la mayor parte de estos trastornos disminuyen tras algunas horas de descanso en el fondo y desaparecen rápidamente en la descompresión. Una vez se ha retornado a la superficie no manifiestan ninguna secuela.

Los primeros observadores atribuían al helio la responsabilidad de los trastornos: se hablaba de un «helium fremor». Pero, lo cierto es que se aprecian trastornos neurológicos cuando se comprimen por vía hidrostática animales acuáticos (crustáceos, o peces) y hasta animales pulmonados «con pulmones anegados»: éstos, en este caso se llenan de un líquido de gran poder disolvente para el oxígeno. Una «ventilación» lenta asegura el intercambio del gas con el líquido. La supervivencia es posible a condición de mantener al animal con temperatura central baja (22 °C para la ardilla). En estas condiciones, bastante singulares —es preciso reconocerlo— el aumento de la presión hidrostática origina trastornos que no se deben en absoluto al helio y que ponen de manifiesto el SNHP. Por otra parte, un amplio estudio comparado de los diversos experimentos actualmente conocidos demuestra que el helio es biológicamente neutro hasta 100 atmósferas. A más presión, parece volverse ligeramente narcótico.

Los efectos de la presión

En la misma época en que el CEH definía el SNHP, Chouteau e Imbert, del Centro de Estudios Marinos Avanzados, también de Marsella, sugerían que una causa importante de los trastornos radicaba en la alta velocidad de compresión entonces en uso. Actualmente, la importancia de este factor está perfectamente establecida e ilustrada a modo de ejemplo con la siguiente comparación: trasladados a una profundidad ficticia (en cámara seca) de 300 m en quince minutos, los buceadores quedan seriamente afectados en el fondo durante 24 horas. LLevados a la misma profundidad en treinta horas, con la ayuda de una mezcla respiratoria similar, los hombres llegan al fondo en excelentes condiciones y pueden trabajar inmediatamente. Todo parece indicar que el organismo se adapta con el tiempo a las nuevas condiciones. En las inmersiones anteriormente descritas, este tiempo de aclimatación es proporcionado bien en el fondo bien por medio de compresión lenta con paradas intermedias. Hoy ha sido plenamente reconocida la importancia de este procedimiento de compresión lenta.

Sin embargo, no se ignora que esta lentitud será de costoso mantenimiento y difícilmente acomodable a las exigencias de las intervenciones de urgencia. De ahí, que se haya intentado aumentar la velocidad de compresión sin comprometer el estado fisiológico y la eficacia de los buceadores. Observando que la presión es, en resumidas cuentas, «excitante» y que el nitrógeno es «narcotizante», Bennett, del F.G. Hall Laboratory de la Universidad de Duke (NC) y Rostain y Gardette del CEH de la COMEX, han estudiado en qué medida el uso del nitrógeno puede limitar los tras-

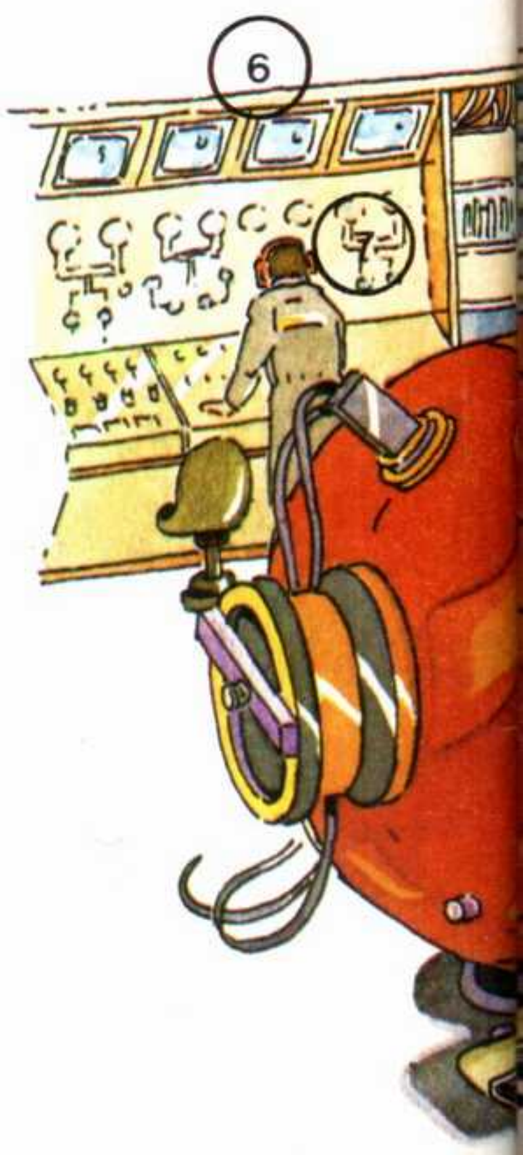


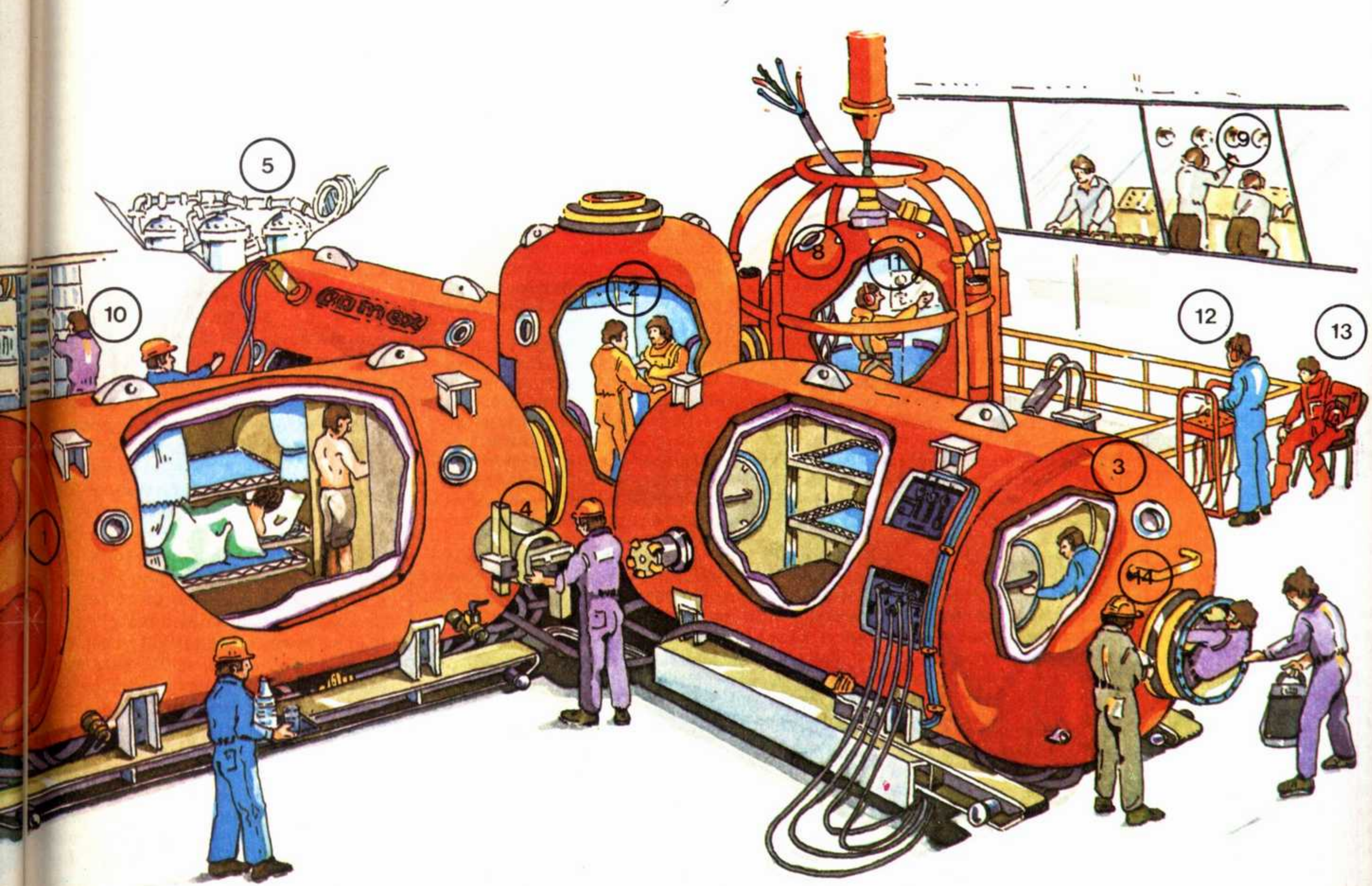
Figura 2. **La inmersión en saturación permite mantener a los hombres en el fondo, teóricamente sin límite de duración; pero necesita la puesta a punto, en superficie, de numeroso personal y de un importante conjunto de materiales. La pieza clave de este sistema es el conjunto hiperbárico de superficie, con sus anexos. Este conjunto se compone de un número más o menos importante de cámaras, clasificadas en tres categorías principales: vivienda** (1) **(sala de permanencia y dormitorio); cámara húmeda** (2) **(para ponerse y quitarse el equipo); ascensor** (3) **(antecámara para las compresiones y descompresiones). Diversas esclusas de reducidas dimensiones permiten los intercambios de objetos pequeños y de alimentos** (4).
Un sistema de regeneración (5) **provisto de un compresor aspira continuamente la mezcla de gases contenida a presión en las cámaras, eliminando el anhídrido carbónico, la humedad y las trazas de hidrocarburos, y calentándola antes de reintroducirla en el complejo. Una sala de control** (6) **permite supervisar el mantenimiento de la presión y otros parámetros. Desde sus tableros, los técnicos** (7) **también vigilan, mediante pantallas de televisión, los movimientos en el interior del complejo. El transporte de los buceadores se efectúa bajo presión por medio de una campana de inmersión móvil** (8), **que se fija herméticamente a la cámara húmeda. Todas la manipulaciones de la campana se efectúan desde el centro de control de la inmersión** (9). **La inmersión en saturación permite asegurar la estancia en el fondo dieciocho horas de cada veinticuatro, con turnos de dos o tres equipos, teniendo en cuenta los necesarios intermedios de los relevos. Excluyendo a los buceadores que viven en saturación, son necesarias para su funcionamiento por lo menos dieciséis personas, es decir, que por guardia habrá: un director de la inmersión y su asistente, un técnico de cámaras** (7) **y su asistente** (10), **un buceador para la campana** (11), **otro para el cordón umbilical** (12), **un buceador socorrista** (13) **y un operario técnico** (14). (Procedencia COMEX.)

tornos nerviosos inducidos por la presión. En la actualidad, estos autores recomiendan una «adición» repetida de nitrógeno, de manera que este gas esté presente en una fracción constante de la presión total, es decir, a una presión parcial creciente con dicha presión (mezclas TRIMIX). El bienestar de los individuos y su capacidad motriz mejoran efectivamente con este procedimiento. P. B. Bennett y sus colaboradores consiguieron hacer descender a tres sujetos a 686 m de profundidad sin temblores ni alteraciones electroencefalográficas apreciables. Como medida de seguridad la permanencia en el fondo se limitó a 24 horas. La reciente inmersión francesa antes mencionada (ENTEX V) se había programado para estudiar la posibilidad de permanecer largo tiempo sin trastornos a gran profundidad (450 m). Con una velocidad de compresión del orden de 40 m/hora, se recurrió a la «adición» repetida de nitrógeno, conforme con los experimentos llevados a cabo en el simio por Rostain y Gardette. Los cuatro buceadores permanecieron en perfecto estado clínico y la inmersión fue un éxito completo y muy significativo en el plano práctico.

Los exámenes exhaustivos realizados por nuestro grupo del GIS (Grupo de interés científico de fisiología hiperbárica) en Marsella durante esa inmersión han revelado, no obstante, que dichos sujetos no estaban exentos de trastornos: la estabilidad fina del sujeto en pie parece alterada; otro tanto cabe decir de la discriminación precisa de los destellos luminosos, y de los reflejos en médula espinal. Como, además, los buceadores de Duke han manifestado fallos persistentes con mezcla TRIMIX en la esfera sensomotriz (habilidades manuales) o mental (cálculo aritmético) (fig. 3), puede deducirse que la compensación no es perfecta, sin duda porque no todos los objetivos nerviosos sensibles a la presión son sensibles al nitrógeno, y viceversa. Como era de esperar esta cuestión nos lleva, por tanto, a considerar cuáles pueden ser los efectos de la presión en el seno de los tejidos, a nivel celular.

De los trastornos del organismo a los de las células

Numerosos experimentos con preparaciones de invertebrados o de vertebrados de sangre fría (anfibios y peces) han demostrado que la fibra muscular, la fibra nerviosa y la sinapsis (punto de conexión entre dos neuronas) son muy poco sensibles a los efectos de la presión cuando el gas de compresión es biológicamente neutro, como es el caso del helio. *Grosso modo*, es necesario superar los 1 000 m de profundidad ficticia para que se produzcan trastornos apreciables. Sin embargo, el hombre, el simio, el gato, los roedores, etc. manifiestan desórdenes nerviosos a 200-300 m de profundidad, tras compresión rápida en una mezcla de helio-oxígeno. Brauer y otros, como resultado de un estudio comparado, subrayan que cuanto más alta está situada una organización nerviosa en la clasificación de los vertebrados, tanto más sensible es a la presión. Dado que dicha organización pone en juego un mayor número de neuronas,



Investigar las causas de los trastornos neurológicos a nivel de la célula.

asociadas en cadenas y actividades más complejas, cabe suponer que el SNHP traduce trastornos celulares quizá poco importantes inicialmente, pero que la organización nerviosa acumula y la fisiología del sistema nervioso y, en última instancia, el comportamiento, revelan en forma de anomalías y déficits diversos. Así, puede presentarse al animal, completo y complejo, como un objeto de estudio tan interesante como la célula individualizada, por ser más sensible y vulnerable de manera más importante desde el punto de vista funcional.

Las múltiples observaciones efectuadas con primates intactos, hombres incluidos, apuntan en ese sentido. Los análisis realizados por nuestro grupo en Marsella referentes a quince inmersiones que iban de 300 a 1 000 m, utilizando más de veinte sujetos (hombres o simios), han demostrado los siguientes hechos: los reflejos monosinápticos —aquellos que tienen una sola sinapsis que en la médula espinal conecta la célula nerviosa sensorial con la célula nerviosa motora— no parecen alterar sus características (excitabilidad de las células, velocidad de conducción de los impulsos nerviosos y capacidad de transmisión sináptica) (véase cuadro 2). El mismo músculo no está alterado de forma detectable ni en su capacidad de respuesta a un estímulo ni en su capacidad ergométrica. De la misma manera, la latencia de las primeras respuestas del córtex cerebral a la estimulación de fibras sensoriales no está alterada en la inmersión, lo cual prueba que la conducción y transmisión de los impulsos está asegurada, sin fallo, a través de tres enlaces sinápticos. En resumen, no se ha descubierto «in situ», en el organismo intacto y a nivel de las neuronas de gran tamaño asociadas en pequeño número, un trastorno hiperbárico a menos de 60-80 atmósferas.

Ahora bien, la situación cambia cuando numerosas células y, en general más pequeñas, están situadas en serie. De ahí que los reflejos de retracción en respuesta a un estímulo cutáneo se vean favorecidos con la profundidad, facilidad que los reflejos monosinápticos manifiestan sólo débilmente. Según esto, los reflejos cutáneos de retracción son «polisinápticos», ya que suponen en la médula espinal una red local de varias neuronas, y por ello de sinapsis, red que parece más sensible a los trastornos hiperbáricos que el simple enlace monosináptico. A ello se debe que los componentes últimos de las respuestas elaboradas por el córtex presenten una mayor latencia y una amplitud modificada, mientras que los componentes iniciales de estas respuestas se modifican poco. En este caso aún intervienen redes de neuronas intermediarias, de las que, por lo menos, ciertos elementos son afectados por la presión. La máxima complejidad del funcionamiento nervioso está representada por las actividades mentales. Lemaire y sus colaboradores del CEH, nuestro grupo en Marsella, Toulon, Japón, Lambertsen en Filadelfia, Bennett en la Universidad de Duke, y Hempleman en Alverstoke (Gran Bretaña), han observado una disminución de la habilidad digital y de la capacidad de discriminación sensorial y de cálculo mental, por ejemplo, cuando se alcanza una profundiad de 300 m. Las deficiencias son moderadas y superables, al menos en parte, con un esfuerzo momentáneo de atención. Pero estos defectos son tan reales y más significativos que las deficiencias electroencefalográficas ya mencionadas: revelan de forma patente la presencia de trastornos nerviosos, a la vez que subrayan la importancia funcional.

Sólo queda, pues, investigar la causa —o causas— inicial(es) de los trastornos neurológicos hiperbáricos a nivel celular. Un ejemplo tomado de nuestras

1. La respiración en inmersión «flexible»

■ Consiste en proporcionar al buceador una mezcla respiratoria a una presión igual a la ambiental; así se evita el comprimir el tórax, al mismo tiempo que se suprimen los problemas ligados a la fabricación y al uso de escafandras rígidas o de vehículos submarinos tripulados. Pero, el uso de una atmósfera a presión puede entrañar importantes problemas respiratorios, a menos que se empleen mezclas artificiales adecuadas.

La práctica más simple consiste en acumular aire comprimido, que será después suministrado al buceador a la presión hidrostática ambiente y según sus necesidades. Pero la densidad de una mezcla gaseosa aumenta proporcionalmente a su presión; el aire es ya «denso» a la presión ordinaria y una mayor densidad impondría al organismo, en el sujeto activo con unas importantes necesidades respiratorias, un esfuerzo de ventilación imposible de realizar a más de 7 atmósferas (60 m de profundidad). Por otra parte, el nitrógeno de este aire comprimido, cuando está a una presión parcial de 5 - 6 atmósferas, produce una narcosis eufórica (la borrachera de la profundidad), que pone en peligro la capacidad mental del buceador y por ello su seguridad. A su vez, el mismo oxígeno se vuelve tóxico para los alveolos pulmonares a más de 0,6 atmósferas de presión parcial si se respira durante unas horas, y a más de 1,2 atmósferas es tóxico para el sistema nervioso en unos minutos. En la práctica, los problemas de ventilación y de toxicidad de los gases del aire levantan ante el buceador una misma barrera alrededor de los 60 metros de profundidad, obstáculo que ha sido eliminado con el uso de mezclas artificiales, que contienen oxígeno a presiones inocuas y helio en lugar de nitrógeno. El helio, siete veces más ligero que el nitrógeno, no tiene prácticamente efectos biológicos por debajo de 1 000 m (101 atmósferas) y los sujetos escogidos y entrenados realizan el trabajo de ventilación de una manera apropiada hasta la zona de los 400-500 metros. El oxígeno se utiliza a presiones parciales de 0,3-0,4 atmósferas para facilitar la difusión alveolar del gas, que puede estar limitada por la presencia de helio a gran concentración. Los mismos tejidos del buceador están sobreoxigenados por dicha elevación de la presión parcial. Dado que la presión es un «estimulante nervioso» (véase la descripción del síndrome nervioso de las grandes presiones en el artículo), la mezcla de helio-oxígeno se completa con la adición de nitrógeno a presión parcial subnarcótica.

El uso del helio, buen conductor del calor, entraña, en aguas que siempre están frías o muy frías (sólo algunos grados sobre cero), un enfriamiento importante por vía pulmonar. De ahí que proceda a completar el sistema del traje calefactor con un adecuado calentamiento de la mezcla de ventilación, con lo que, tras una compresión a velocidad moderada, se mantienen las condiciones de trabajo convenientes en cuanto a fisiología y «bienestar térmico».

En la descompresión, al disminuir la presión parcial del helio ventilado, este gas difunde desde la sangre, donde la presión parcial decrece con facilidad debido a la convección circulatoria y a la evacuación pulmonar. Debe evitarse el peligro de formación de burbujas, que pueden determinar embolias gaseosas o bien mezclas gaseosas y sanguíneas. Al parecer, las burbujas son poco peligrosas siempre que estén «en circulación», es decir, que sean pequeñas, lo cual implica una descompresión lenta. La cantidad y el tamaño de las burbujas circulantes pueden ser apreciados mediante técnicas ultrasónicas «no invasivas», técnicas que son de gran ayuda, en particular para el establecimiento en el laboratorio de pautas seguras de descompresión.

Un procedimiento accesorio, pero útil, consiste en remplazar, al final de la descompresión, la presión parcial de helio por una presión correspondiente de oxígeno (hasta 1,2 atmósferas, como máximo). El helio se elimina con menor riesgo de formación de burbujas. Seguidamente, el oxígeno se metabolizará o se expulsará con más facilidad.

Este rápido bosquejo demuestra que, en la inmersión, la función respiratoria además de vital es compleja. Sólo se asegura correctamente con una estrecha cooperación de la fisiología, de los servicios de inmersión y de la experiencia profesional, sea práctica o médica.

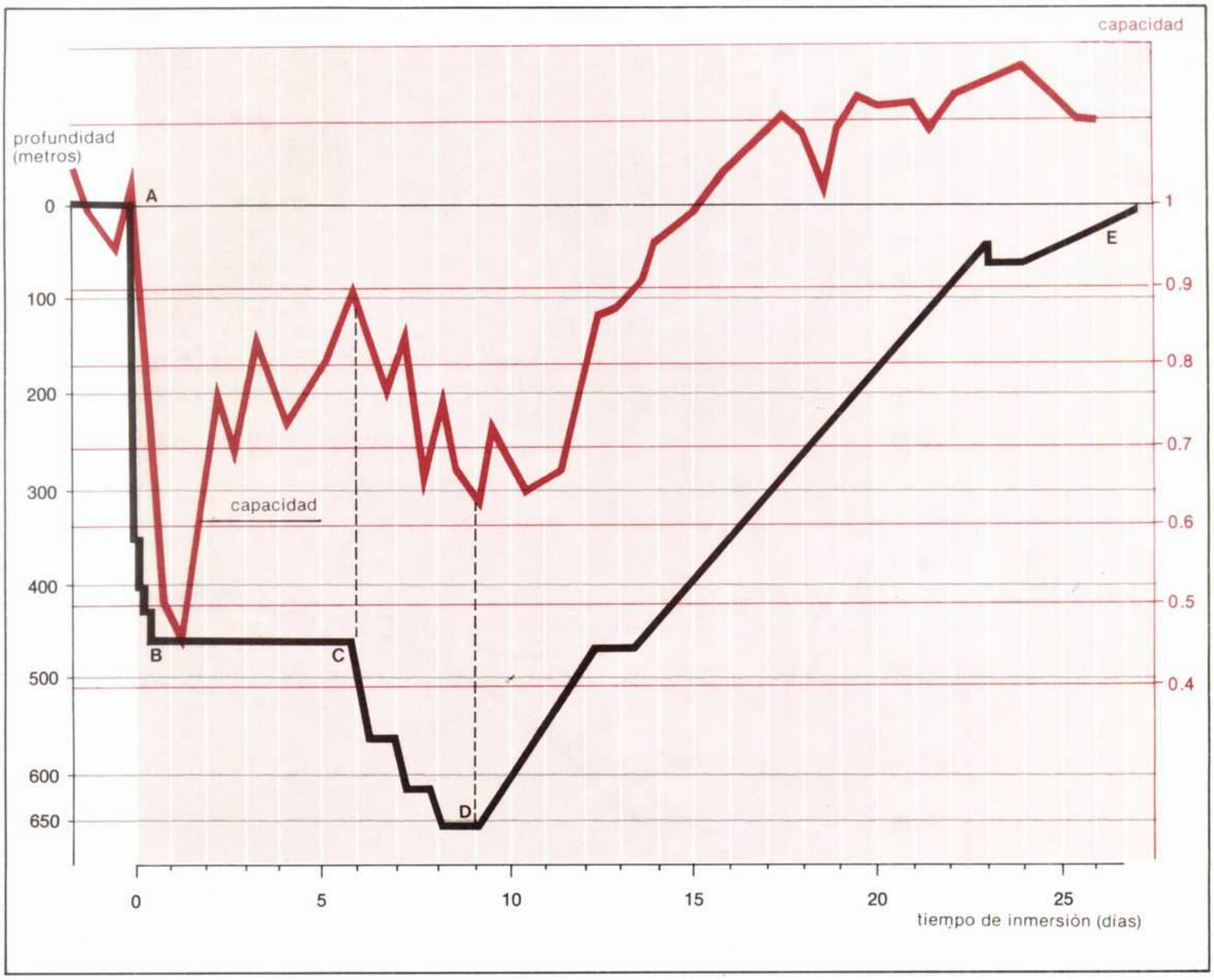


Figura 3. **La compresión rápida, de 0 a 300 metros perjudica al hombre, pero una permanencia a presión constante comporta la disminución de los trastornos. En trazado negro, el perfil de una reciente inmersión (Atlantis II, marzo de 1980) efectuada por la Universidad de Duke. La compresión** (AB) **se realizó en doce horas veinte minutos, con una velocidad progresivamente menor (de 108 m/h a 15 m/h) y con paradas intermedias (5 min a 108 m y a 240 m; 1 hora a 305 - 355 m; 2 horas a 400 m; 1 hora a 430 m). A continuación, cinco días y medio a 460 m** (BC). **Una nueva compresión** (CD), **muy lenta e interrumpida por largos descansos intermedios, les llevó a 650 m, permaneciendo allí durante 24 horas. Con una descompresión lenta, aminorada gradualmente, se devolvió a los sujetos a la superficie en quince días (oxígeno: 0,5 atm, nitrógeno: 4,7 atm). El trazado en azul marca la evolución de la capacidad de cálculo mental (en ordenadas, a la derecha: evaluación de capacidad en función de la observada en superficie al inicio de la inmersión. Valor medio de tres sujetos). Se aprecia que la capacidad disminuye mucho con la compresión y mejora con el descanso en saturación a 460 m. Una nueva compresión implica un nuevo empeoramiento que, no obstante, no es tan acusado aunque la profundidad aumente de forma sensible. El retorno a la capacidad normal se produce hacia el decimoquinto día, entre 400 y 300 m de profundidad, sin dejar secuelas** (Según P. B. Bennett y otros, F. G. Hall Laboratory, Duke University North Carolina, EE.UU.)

observaciones sobre la neurofisiología de los organismos puede ilustrar qué relación establece la organización nerviosa entre los trastornos elementales y los trastornos de la capacidad. Es bien sabido que puede disminuirse la amplitud de un reflejo monosináptico si va precedido unos 300-1 000 milisegundos por un primer reflejo. Esta inhibición del reflejo se debe a la actividad persistente de una neurona particular (célula RC) que frena la actividad de las células motoras (véase cuadro 2). El primer reflejo desencadena esta actividad persistente, que es la que inhibe al segundo reflejo. El argumento que confirma esta afirmación es el de que una droga tal como la atropina bloquea la actividad persistente de las células RC y suprime así el efecto inhibidor ligado al primer reflejo. Más concretamente, la atropina bloquea las sinapsis en las que la transmisión del impulso nervioso se realiza por la acetilcolina.

Estas sinapsis, denominadas «muscarínicas», son los puntos de contacto que enlazan la célula RC a los fibras derivadas de la célula motora. Por ello, la compresión rápida suprime, como la atropina, la inhibición persistente de los reflejos monosinápticos.

Esta correlación entraña la siguiente conclusión: la presión, aunque no altera la liberación ni las cualidades de la acetilcolina, afectará a los receptores muscarínicos o a la cadena de acciones que van unidas a su activación. Por esto, un determinado trastorno reflejo está relacionado con un trastorno celular. La explicación se lleva ahora a nivel de la organización del receptor: se trata de la estructura de la membrana nerviosa y de las diferenciaciones que produce y mantiene; por último, se tratará de la acción de la presión sobre las grandes moléculas que constituyen las estructuras celulares y las relaciones en que están implicadas. Interrogado sobre un pro-

Inmersión rápida o lenta, a gran profundidad o no: la capacidad de adaptación y de recuperación no es la misma.

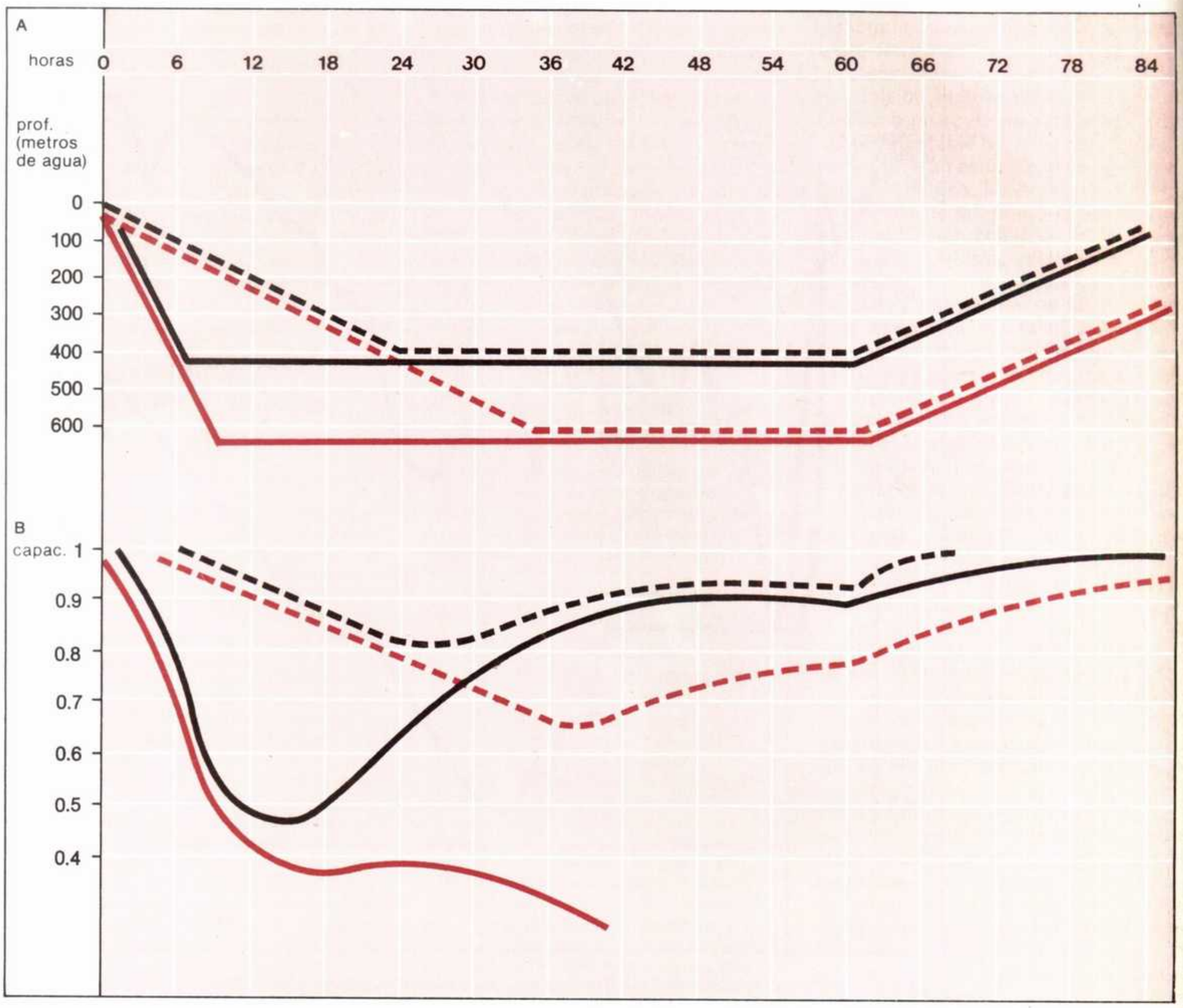


Figura 4. **Según sea lenta o rápida la inmersión a gran profundidad o no, la capacidad de adaptación y de recuperación no será igual.**
(A) **Las profundidades de 400 m (líneas negras) y de 600 m (líneas de color) pueden conseguirse por inmersión con compresión lenta (trazado discontinuo) o rápida (trazado continuo).**
(B) **De todas formas, estas compresiones producen una cierta degradación de la capacidad sensomotora o intelectual o, simplemente, neurofisiológica, de los sujetos, deterioro que se representa con respecto a la capacidad en superficie (capac. 1). Si se compara la degradación de la capacidad tras una compresión lenta o rápida, a profundidad mayor o menor, destaca que, a igual profundidad (300 m), la degradación más acusada se produce tras una compresión rápida; que después de llegar al fondo, la degradación disminuye, aunque queda un remanente tanto más marcado cuanto mayor sea la profundidad de saturación; que, si la presión de saturación es particularmente elevada, la degradación de la capacidad también lo es, y además progresiva; que, a igual profundidad, la capacidad es, en general, mejor en la descompresión que durante la compresión.**

blema que escapa del campo de la neurofisiología de los organismos, el biofísico sugiere que la presión puede alterar la configuración externa y, de ahí, las propiedades de las macromoléculas; o que puede resultar modificada la estabilidad de la organización normal de la membrana (fosfolípidos y proteínas); o que puede frenarse el encadenamiento de las reacciones enzimáticas inducidas por la activación sináptica, si una de esas reacciones, que se desarrolla con un aumento de volumen, está contrarrestada por la presión hidrostática; o que la estructura del agua, la hidratación de los iones citoplasmáticos o su formación están modificadas por la misma presión..., llegándose de esta forma a la biofísica molecular y celular fundamental.

Este esquema sugiere, cualesquiera que sean los detalles, que la presión debe ser considerada como una fuente de desorden, tanto desde el punto de vista de la organización subcelular como de su funcionamiento. También se comprende que este desorden pueda constatarse en las especies celulares más diversas, de lo cual hoy se tiene sobrada documentación. Tratándose del SNHP mismo, las causas parecen ser múltiples, sin que en tal diversidad pueda separarse por ahora lo que procede atribuir a la variedad de las células nerviosas o a la de las redes que ellas constituyen.

Se pone de manifiesto que la máquina biológica, y más específicamente la máquina nerviosa, tiende a la autoconservación: frente a la agresión hiperbárica modifica su funcionamiento para asegurar tanto su mantenimiento estructural como el sistema de sus relaciones de célula o de organismo; se adapta a la presión, como se adapta a otros componentes de su ambiente. Esta es, al menos, la hipótesis heurística que examinaremos a continuación.

2. El reflejo monosináptico

■ El análisis de los reflejos, en el hombre o en el animal, permite estudiar el funcionamiento de un circuito nervioso simple en el sujeto intacto y descubrir los eventuales trastornos del funcionamiento. El arco reflejo monosináptico, por ejemplo, es un circuito nervioso simple (fig. A). Los músculos (M) poseen órganos sensoriales (S) sensibles a las variaciones de longitud. Un alargamiento, por ejemplo, los estimula. Los impulsos nerviosos sensoriales llegan a la médula espinal por las fibras aferentes IA que establecen conexión con motoneuronas «alfa»: el circuito es monosináptico. Los impulsos IA estimulan a las motoneuronas produciendo impulsos motores que de retorno estimulan al músculo de origen M: al estiramiento impuesto se corresponde una respuesta de acortamiento. R. G. representa circuitos nerviosos estimulados por la actividad de las motoneuronas alfa; estos circuitos se cierran de nuevo sobre las motoneuronas de origen, en las que regulan el funcionamiento gracias a una acción inhibidora moderada. El signo «gamma» indica las motoneuronas que regulan la longitud y, por ello, la sensibilidad de los «husos neuromusculares».

El circuito S-alfa- M forma un arco reflejo monosináptico que puede hacerse funcionar por un estiramiento brusco de S (reflejo de estiramiento) o por estimulación eléctrica de las fibras IA (reflejo de Hoffmann).

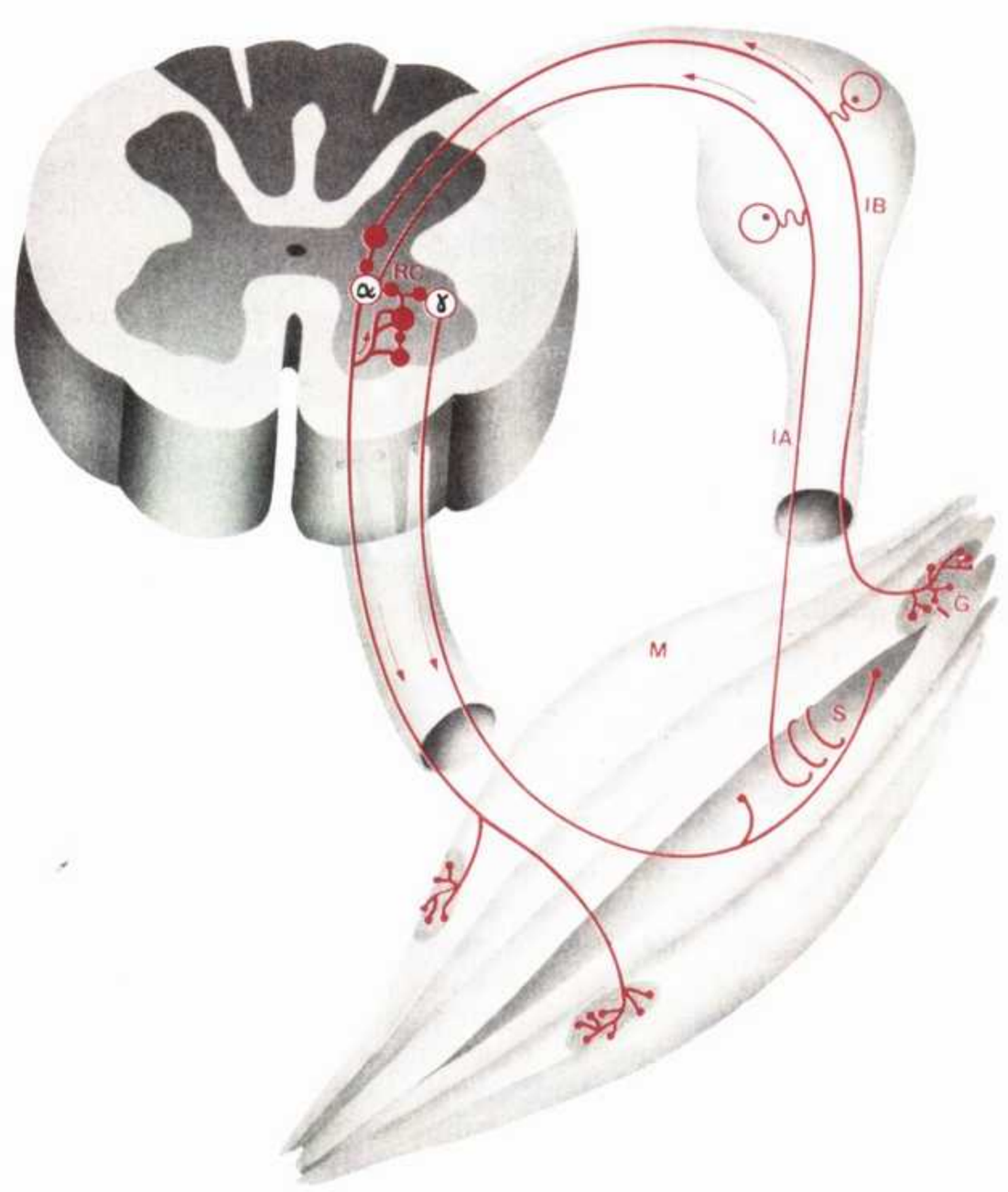
Los órganos sensoriales G insertos entre las fibras musculares M que se contraen y el medio exterior que se resiste codifican la fuerza desarrollada por el músculo M. Sus impulsos sensoriales llegan a la médula, donde inhiben a las motoneuronas alfa mediante interneuronas específicas. De esta manera, una sobrecarga impuesta al músculo activo induce un mensaje cuyo efecto inhibidor reduce la fuerza de la contracción muscular.

La reflexología, humana o animal, permite estudiar todos estos aspectos.

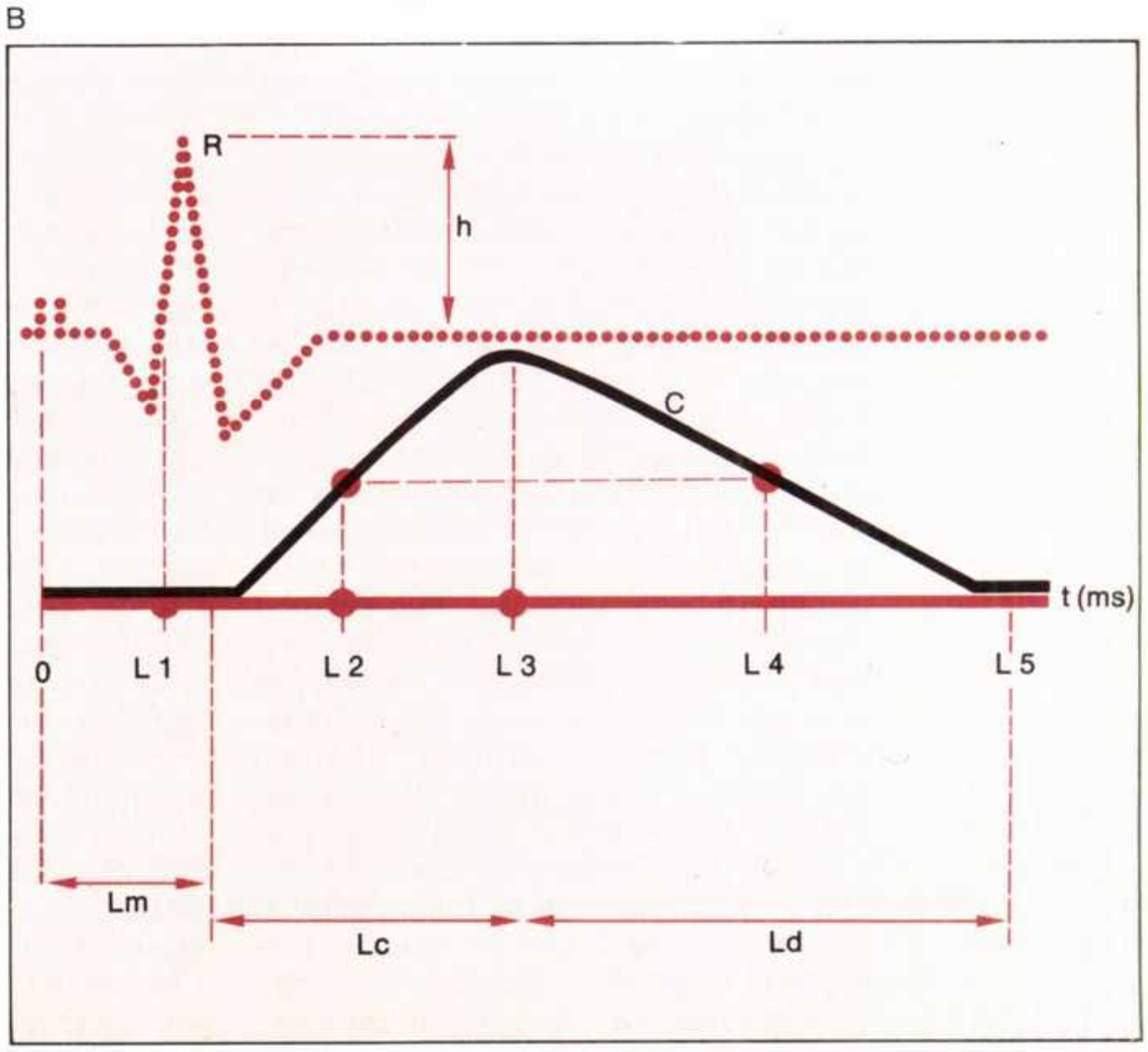
Un estímulo eléctrico (línea superior, tiempo cero) que estimula a las fibras IA y desencadena un reflejo tiene una componente eléctrica (R) y una manifestación mecánica (C) (fig. B). Estas dos respuestas van ligadas. La latencia L1 del reflejo R y su amplitud h dependen del funcionamiento del arco nervioso monosináptico (S-alfa-M). La contracción C, su disminución y su amplitud dependen, si la orden nerviosa es constante, de las propiedades contráctiles de las fibras del músculo M.

En el hombre y en el simio, estas características de latencia y amplitud no se modifican sensiblemente hasta, por lo menos, 980 m de profundidad. El aparato sensorial muscular, las vías nerviosas y las sinapsis del reflejo y el aparato motor del músculo no están significativamente alterados por estas presiones.

A



B



Los progresos en fisiología permitirán ampliar el margen de seguridad del buceador.

Adaptación a las altas presiones: fisiología y biología

Ya hemos visto, pues que la compresión rápida de 0 a 300 m es perturbadora para el hombre y que la permanencia a presión constante induce una disminución de los trastornos. A título indicativo, citaremos el ejemplo de una inmersión reciente (Atlantis II, marzo 1980) realizada por la Universidad de Duke. Tres hombres descendieron a 650 m con un largo descanso intermedio a los 450 m (fig. 3). Los períodos de compresión, al principio de la inmersión o tras el descanso a 450 m, produjeron una degradación general de la capacidad motriz, perceptiva, mnésica y mental. La permanencia a 450 m proporcionó una mejora parcial, mientras que la descompresión permitió el retorno a la capacidad normal hacia los 400/300 m. Otros grupos han observado el mismo tipo de evolución con respecto a otras inmersiones, durante la compresión, la permanencia en el fondo y la descompresión. El electroencefalograma permite comparar estas observaciones. Considerando sólo la capacidad, podemos decir que se degrada durante la compresión, mejora en el descanso intermedio, es siempre inferior en el fondo de lo que era en la superficie y puede degradarse progresivamente cuando la profundidad del descanso intermedio es excesiva (600 m, por ejemplo). Desde el punto de vista de los mecanismos, estos hechos pueden explicarse si se tiene en cuenta el tiempo necesario para asegurar la saturación del organismo con el gas diluyente y asegurar así su equilibrio intertisular, o el efecto propio de la velocidad de compresión, junto con los efectos específicos de la presión.

Con respecto al tiempo necesario para una saturación homogénea de helio en los diversos líquidos tisulares del cuerpo, parece que debe ser relativamente corto, considerando la función distribuidora de la circulación sanguínea. En cambio, con respecto a la entrada del helio en el interior de las estructuras macromoleculares (membranas y sistemas similares), poco es lo que se conoce. Incluso esta penetración, si es la causante de la desorganización subcelular, debería aumentar, con su progresión, los trastornos iniciales más que provocar su disminución. Nosotros, más bien preferimos considerar que la presión, por sus efectos «físico-mecánicos», como dice P. Bert, crea una cortísima demora de los trastornos moleculares y celulares, y que la actividad celular propiamente dicha tiende a mantenerse mediante un trabajo homeostático de compensación. No obstante, esta aclimatación supone un cierto retraso. Cuando la compresión es rápida el desorden supera a la compensación. En nuestra opinión, con una parada intermedia o cuando la comprensión es bastante lenta domina la compensación, aunque, como en toda regulación, con un cierto déficit residual de corrección. En la descompresión, la aclimatación conseguida previamente comporta, a igual presión, un nivel de eficacia superior al que se tenía antes de la compresión. Veamos para cuatro tipos de inmersión la respectiva evolución de la eficiencia operativa (fig. 4):

— una inmersión rápida y a gran profundidad (600 m) compromete al individuo al degradarse gradualmente su estado en el fondo. Los mecanismos de regulación quedan desbordados; la interrupción del funcionamiento de uno de los sistemas fisiológicos del organismo es el inmediato responsable de un desenlace fatal. El más sensible a esta presión brutal no es necesariamente el sistema nervioso;

— una inmersión rápida, pero menos profunda (400 m) puede evitar lo peor, pero admite un riesgo elevado seguido de una aclimatación mediocre. La adaptabilidad del sujeto se halla en el límite. Aún en este caso debe considerarse la noción de «sistema limitante por su fragilidad»;

— una inmersión lenta y a gran profundidad (600 m) permitirá, para una misma profundidad, una «gran eficiencia» con un margen de seguridad superior. La aclimatación final debería ser mejor, al no sobrepasarse la capacidad del equipamiento celular;

— por último, las inmersiones lentas y a menor profundidad (400 m) son, por supuesto, las más seguras y cómodas.

Tratándose de fisiología, nos gustaría establecer un paralelismo con las observaciones de Mandell. En un estudio de síntesis, este autor explica cómo mediante acciones reguladoras propias puede responder la célula a la acción de las drogas manteniendo su actividad con modificaciones rápidas o lentas según la naturaleza de la agresión. El principal resultado es una disminución de los efectos de la acción perturbadora: con el paso del tiempo, la droga inicialmente activa se vuelve ineficaz. Lo mismo debería pasar con la presión: la adaptación celular debería reducir sus efectos, por vías totalmente fisiológicas. Así, la adaptación celular fisiológica daría razón de la acomodación general del individuo a la presión. Desde el punto de vista práctico, y según este modelo, cabe preguntarse si todos los individuos poseerán las mismas cualidades de adaptabilidad, si éstas serán iguales para los distintos tejidos que pueden ser afectados por la presión, si la repetición de las inmersiones aumentará o comprometerá la adaptabilidad celular, si el permanecer bajo presión durante mucho tiempo no producirá efectos análogos a la habituación farmacológica a una droga, cómo podría localizarse la acción del nitrógeno o, en general, de las drogas, en el conjunto de las regulaciones celulares adaptativas. Este modelo de «adaptación celular» aparece así pletórico de sugerencias experimentales y clínicas, de modo que la fisiología celular, en última instancia subyacente a la del trabajo submarino, atañe también a la selección de los futuros buceadores y a la supervisión médica profesional de los buceadores en ejercicio.

Los límites humanos

En estos últimos años han menudeado los estudios de fisiología celular en el sentido anteriormente indicado aunque, en general, se han realizado con materiales muy alejados biológicamente de los mamíferos superiores. Y así están desarrollándose nuevas técnicas, por ejemplo, de adaptación a la fisiología hiperbárica de los procedimientos de estudio de las células o tejidos en cultivo, o de los precedimientos con cortes de órganos, que completarán los estudios realizados en el animal completo o en órganos aislados. Si nos atrevemos a emitir un pronóstico, diremos que el fruto de estos estudios de biología-fisiología celular, en contexto con la fisiología de la regulación del organismo, habrá de reportar un conocimiento más profundo de la fisiología de la inmersión y, por tanto, importantes mejoras prácticas.

Estas consideraciones sobre la fisiología de la adaptación a las altas presiones submarinas tienen su vertiente ecológica. Estudiando los crustáceos del lago Baikal, R. W. Brauer ha reparado en la existencia de especies de superficie y de otras de gran profundidad (1 000-1 400 m). Las últimas resisten bastante bien la experiencia de ser llevadas a la superficie; las primeras perecen cuando se las somete bruscamente a las grandes presiones del fondo. Los animales mueren «rígidos», tras manifestar hiperactividad, espasmos y convulsiones continuas. El autor se pregunta, entonces, si la adaptación biológica hiperbárica no resultará de la consolidación y extensión de los procesos homeostáticos de regulación que se supone activos en las especies de superficie cuando se las comprime; procesos que serían característicos para cada especie ecológica en virtud de la selección natural. Traemos a colación aquí este trabajo para resaltar las relaciones que a la biología ambiental pueden caberle con la fisiología hiperbárica, verdadera fisiología del medio.

De forma más general, destacaremos como conclusión lo que sigue: si bien es cierto que el hombre es hoy perfecta-

mente capaz de trabajar en inmersiones de 300-400 m, también se observa que los seguros e inmediatos progresos de la Fisiología ampliarán el margen de seguridad de que dispone actualmente el buceador, permitiéndole nuevos avances en profundidad. Desde este punto de vista, los estudios fisiológicos más urgentes parecen decantarse hacia un mejor conocimiento de los estados fisiológicos a profundidades «ergonómicas» (alrededor de 500 m) más que hacia los de las profundidades extremas. Para estos estudios de situaciones extremas serían preferibles los animales. El interés práctico de los estudios de la fisiología de la adaptación reside en algo que será verdad durante largo tiempo: en razón de su adaptabilidad de comportamiento en trabajos varios, el operador humano será siempre indispensable en la asistencia mar adentro, aun si los mecanismos automáticos llegan a superarlo en las grandes empresas estandarizadas. El futuro está en una cooperación no excluyente.

Por último, procede señalar que la práctica y la investigación hiperbáricas mantienen desde hace unos quince años unas relaciones ejemplares, en el aspecto de que el progreso de una ha sustentado constantemente el avance de la otra. Los espíritus siempre preocupados por la querella artificial de «fundamental» o «aplicado» deberían estudiar de cerca esta historia. Constatarían así que la cooperación equilibrada entre investigadores, prácticos y administradores desprovee de sentido real a dicha oposición. ■

Para más información:

■ P. B. Bennett, D. H. Elliot, *The physiology of diving and compressed air work*, Baillère, Tyndall, Londres, 1975.

■ G. Imbert, «Des effets sur les animaux de la respiration d'oxygène-hélium à des pressions extrêmes», Tesis Doctoral en Ciencias; solicítese del GIS de Fisiología Hiperbárica, 1980.

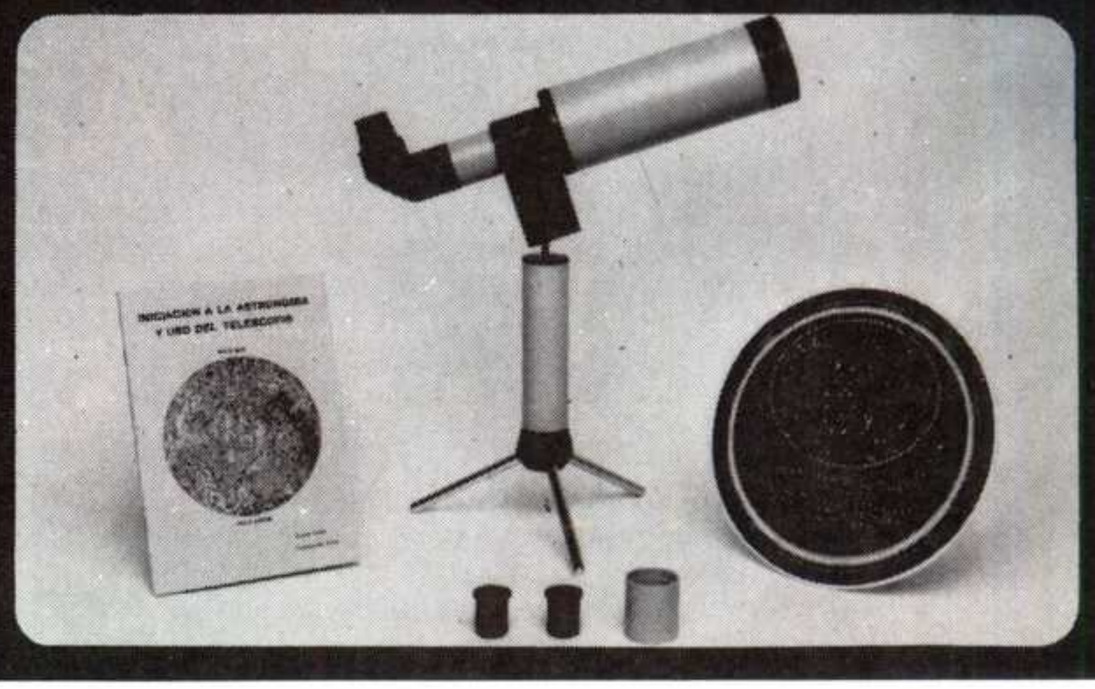
■ J. C. Rostain, «Le syndrome nerveux des hautes pressions chez l'homme et le singe Papio», Tesis Doctoral en Ciencias; solicítese del GIS de Fisiología Hiperbárica, 1980.

■ R. Guillerm, G. Masurel, «Apports de la détection ultra-sonore à effet Doppler des bulles circulantes à la pathogénie des accidents de décompression», *Med. Aer. Spat. Med. Subq. Hyperb., 19*, 217, 1980.

Bibliografía en castellano:

■ D. Jensen, «Supervivencia en ambientes de alta presión: fisiología del buceo», en *Fisiología*: 1182-1188, Ed. Interamericana, México, 1979.

EQUIPO ASTRONOMICO BASICO/2



Presentamos ahora este equipo, con un telescopio compacto de extraordinarias características y a precio de lanzamiento.

Con este equipo básico, podrá resolver problemas de Astronomía práctica y comprobar un gran número de fenómenos que nos presenta la más antigua y maravillosa de las ciencias.

TELESCOPIO REFRACTOR GUICAR MODELO L-2

Para observación astronómica y terrestre, con 20, 40 y 80 aumentos.

Objetivo: acromático, diámetro 60 mm., f: 34 cm., luminosidad 5,7.

Oculares: compuestos tipo Ramsdem, de 20, 40 y 80 aumentos. Provisto de enfoque helicoidal.

Accesorios: Dispositivo acodado, para observación astronómica y terrestre. Montura acimutal y trípode de sobremesa. Adaptador para cualquier trípode fotográfico. Ultra compacto y ligero. Todo el equipo completo, en un estuche 37 x 25 x 8 cm. Peso 2,5 Kgrs.

Este telescopio, es ideal para la iniciación a la Astronomía. Para observar: Cúmulos estelares, nebulosas, cráteres de la Luna, eclipses, anillos de Saturno, satélites de Júpiter, casquetes polares de Marte, cometas, manchas del Sol, etc., y además en visión normal, observación de la fauna terrestre, objetos lejanos, etc.

PLANISFERIO GIRATORIO GUICAR PARA LOCALIZAR ESTRELLAS

Construido con material plástico inalterable a los agentes atmosféricos. Permite localizar las principales estrellas visibles en cada hora y día del año. Contine estrellas hasta la 5ª magnitud, cúmulos estelares, nebulosas, etc. Está provisto de una escala transportadora para determinar rápidamente la posición de cualquier estrella, Luna, planetas, cometas, etc. También de interés para navegantes y excursionistas. Formato 25 cm. por 25 cm.

EL LIBRO, INICIACION A LA OBSERVACION ASTRONOMICA Y USO DEL TELESCOPIO

Con la adquisición del telescopio astronómico y el planisferio giratorio, **ENVIAMOS GRATUITAMENTE** este libro. Escrito especialmente por el equipo Guicar, a fin de iniciar al aficionado a base de utilizar el telescopio y el planisferio Guicar, en observaciones a simple vista y con el telescopio. Profusamente ilustrado 42 páginas, mapas de la Luna, tablas, 22 figuras, tamaño 17 x 24 cm.

Precio del telescopio: 5.175 ptas.
Precio del planisferio giratorio: 775 ptas.
Precio del juego completo con el libro de regalo: 5.959 ptas.

El envío se realizará contra reeembolso, libre de gastos de envío en cada caso. **De no quedar satisfecho, puede devolver dicho equipo por reembolso y le será reintegrado su importe.**

Para pedidos dirigirse a : **PUBLICACIONES GUICAR**
Apartado de Correos, 66 - Z
Tàrrega (Lérida)

Ciencia y política

Biotecnología: el matrimonio industria-Universidad

En Estados Unidos, la inflación progresa, pero el presupuesto federal para investigación universitaria se estanca. De este modo las universidades se orientan cada vez más hacia fuentes de financiación privadas. Hace un año, la Universidad de Harvard estuvo tentada de participar en la creación de una economía de ingeniería genética industrial, bajo el impulso de un biólogo molecular de Harvard, Mark Ptashne. Finalmente, la dirección de la Universidad hubo de renunciar al proyecto, sobre todo por causa de las reacciones negativas de un cierto número de universitarios, según los cuales la vida universitaria no sabría mezclarse con intereses comerciales sin verse gravemente alterada. Habíamos constatado este conflicto en los números de enero y febrero pasados. Existe en este momento otra forma de cooperación, entre la industria y la Universidad, organizándose en Harvard. Por una parte, la compañía farmacéutica franco-alemana Hoechst-Roussel se ha comprometido a entregar 50 millones de dólares, a lo largo de diez años, para la creación y funcionamiento de un laboratorio de biología molecular en el seno del Hospital General de Massachusetts, que depende de la Universidad de Harvard. El director será Howard M. Goodman, bien conocido especialista en ingeniería genética (genes de insulina, hormona del crecimiento,...) actualmente profesor en la Universidad de San Francisco. El propósito que confiesa este laboratorio es aplicar la biología molecular (es decir, la ingeniería genética) al tratamiento de enfermedades. Por otra parte, la firma química norteamericana Dupont entregará 6 millones de dólares, a lo largo de 5 años, para un nuevo laboratorio, la Escuela Médica de Harvard. El director será Philip Leder, otro especialista de renombre en ingeniería genética (genes de la globina, desinmunoglobulinas,...). En ambos casos, las firmas comerciales han obtenido, a cambio de sus inversiones, el derecho en exclusiva para explotar las patentes salidas de investigaciones efectuadas en los laboratorios que habrán financiado. Los acuerdos Universidad-industria causan numerosos problemas, entre ellos el de la independencia de la investigación universitaria. Además, ¿podrán los científicos seguir siendo consultados como expertos desinteresados por la «mass media», las comisiones ministeriales o los tribunales? El más grave temor, desde el punto de vista de los científicos es sin embargo que, muy probablemente, los trabajos realizados en laboratorios así financiados no se publicarán en toda su integridad, contrariamente a los realizados normalmente por el cuadro universitario. Por lo demás, el acuerdo Hoechst-Harvard suscita la inquietud de las autoridades norteamericanas. Éstas temen ver cómo emprenden el vuelo transatlántico los beneficios de investigaciones, comenzadas, algunas veces, hace más de veinte años y con ayuda de fondos federales.

En otro lugar de Estados Unidos, la Universidad de Standford, otro centro importante en Ingeniería genética, examina un reglamento administrativo dirigido al control de las actividades de sus miembros dentro de las sociedades comerciales. El reglamento prevee, entre otras medidas, que en el futuro, los miembros de la Universidad de Standford, requeridos como consultores por las sociedades, deberán declarar públicamente para quién trabajan y cuánto tiempo consagran.

En fin, existe por lo menos una universidad norteamericana que ha ido más allá de las demás: la Universidad de Michigan ha anunciado que entregará 100 000 dólares como ayuda a ciertos de sus miembros en la instalación de una empresa de ingeniería genética, bautizada Neogen, que se especializará en aplicaciones agronómicas.

Fuga de tesoros

¿Cómo detener el pillaje en los centros de interés arqueológico sudamericanos? Es la pregunta que los arqueólogos norteamericanos continúan haciéndose con agudeza. Están inquietos por las proporciones que toma el tráfico de obras de arte. Un artículo en el *National Geographic Magazine* de agosto de 1981, del arqueólogo George E. Stuart, vuelve a poner la pregunta en el orden del día a propósito de una gruta en el Norte de Guatemala en la que han sido descubiertas numerosas pinturas maya y también jeroglíficos que datan del período clásico. Recién descubierta, ya fue objeto de la codicia de los traficantes que varias veces han tratado de serrar trozos de columnas que contenían pinturas. El artículo sacaba a la luz las dificultades de los servicios arqueológicos de Guatemala para cuidar los lugares de interés histórico, tanto como la ausencia de legislación que permita limitar el tráfico y, aun, la ausencia de consenso sobre la cuestión, a pesar de los esfuerzos de la UNESCO para conseguir la armonización de la legislación al respecto. Las reacciones a dicho artículo provocaron una controversia referente a la publicidad que se ha de dar a este género de prácticas: ciertos arqueólogos aseguran que el valor de las obras de arte aumentará aún más a causa de esta publicación. En su editorial, W. E. Garret, director del *National Geographic Magazine*, ha abogado, por el contrario, en el sentido de hacer una publicidad mayor para que los coleccionistas tomen al fin conciencia de las destrucciones inadmisibles en las que son cómplices al comprar obras robadas.

Un conflicto ecológico acerca de una mosca frugívora

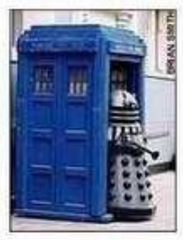
No solamente es en el dominio nuclear en el que los expertos científicos están en desacuerdo, los unos con los otros, y disputan sobre los problemas de seguridad. Un conflicto ecológico acerca de la destrucción de una mosca lo demostró claramente el pasado verano en California. El asunto comenzó hace poco más de un año, cuando una mosca, llamada mediterránea, empezó a infestar las plantaciones de la región de San José, al Sur de San Francisco. Las larvas de esta mosca se nutren de más de doscientas variedades de frutos y legumbres, y las pérdidas corrían el riesgo de ser considerables para el Estado de California, gran productor agrícola. Además, la contaminación por frutas californianas comercializadas corría el riesgo de extender la plaga a otros estados, también productores agrícolas, como Texas o Florida.

En California, los servicios oficiales iniciaron la lucha contra la mosca mediante un método biológico: la guerra genética. Ésta consistía en difundir en la región grandes cantidades de moscas macho estériles, criadas en laboratorio y esterilizadas por irradiación. Estando en neta superioridad numérica, estos machos estériles realizan la mayoría de los acoplamientos y, como consecuencia, en principio, producen una gran caída de la natalidad. Pero, a principios del pasado mes de julio, los científicos que seguían estas operaciones, encontraron numerosas larvas en una región montañosa próxima a San Francisco, región por tanto muy alejada de la zona inicial de infestación. ¿Había fallado la lucha biológica? De hecho, los científicos se dieron cuenta de que las larvas de las regiones montañosas provenían únicamente de una «suelta» preventiva en esta región de un lote de moscas estériles (los lotes de moscas irradiadas están compuestos de machos y hembras a un tiempo, porque es muy costoso separar los dos sexos). Luego, las moscas que se suponían estériles no lo eran (por lo menos, en ciertos lotes). Desde entonces podíamos temer que la guerra genética condujera a un resultado contrario al esperado, es decir, a una pululación extraordinaria de la mosca. Entonces, los expertos derivaron rápidamente hacia la guerra química: decidieron pulverizar mediante helicópteros, un insecticida, el Malathion. Pero a principios de julio, el Gobernador de California se opuso a esta fumigación aérea: la región infestada es suburbana, con 600 000 habitantes; el insecticida iba a extenderse por patios, jardines, césped, viviendas... De esta forma, la población temía verse expuesta a riesgos desconocidos. Sin embargo, el 10 de julio, el Secretario de Estado para la agricultura intervino: amenazó a California con poner en cuarentena sus productos agrícolas si la fumigación de Malathion no era efectuada. El Gobernador de California se rendiría y la fumigación comenzó el 14 de julio; y duró dos meses, a razón de una misión por semana.

Sin embargo, no todos los expertos estaban de acuerdo sobre los efectos del Malathion. Un farmacólogo de la Universidad de Standford que denuncia la fumigación aérea como: «experimentación sobre hombres indefensos» informa en el *News Scientist* del 23 de julio de 1981, que este insecticida provoca mutaciones en el patrimonio hereditario y podría ser cancerígeno en el hombre. Experimentos del Instituto Nacional del Cáncer, efectuados sobre ratones en 1978, dieron resultados ambiguos: en ciertas experiencias, el Malathion no era cancerígeno; en otras estaba «casi» en el límite de la significación estadística. Finalmente, un portavoz del Ministerio de Protección del Medio Ambiente (Environment Protection Agency) afirma que el Malathion es perfectamente inofensivo. Sin embargo, oficialmente se aconsejaba a los habitantes de la región infestada que se encerraran en sus casas durante la fumigación, mientras que el Gobernador de California, para mostrar su fe en la seguridad de la operación, pasó la noche con un habitante.

ESPACIO DE PUBLICIDAD

EX LIBRIS Scan Digit



The Doctor

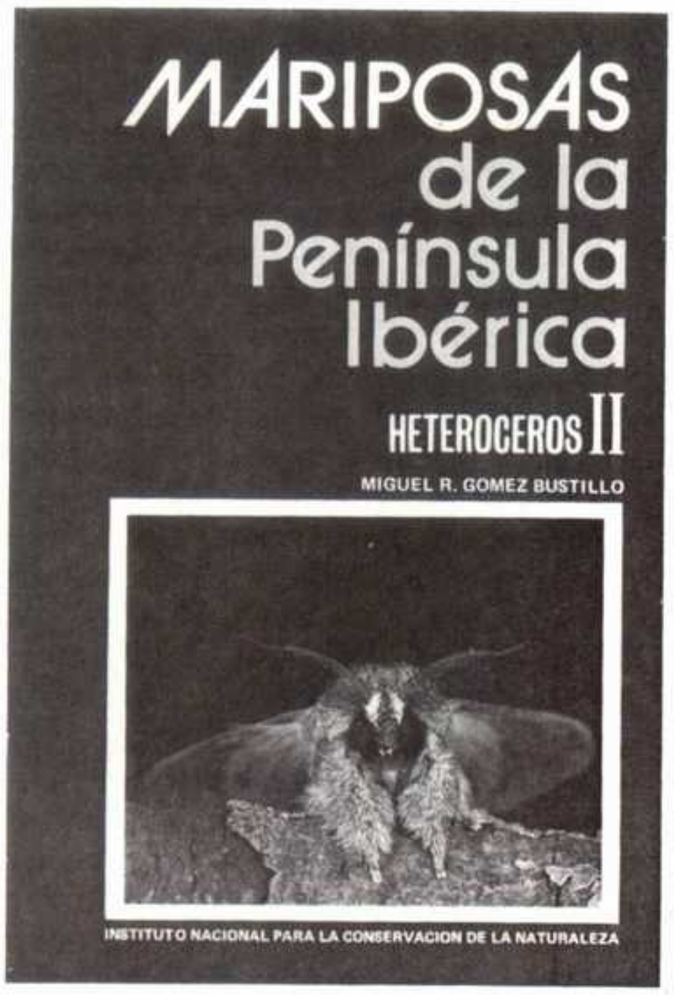
http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

https://labibliotecadeldrmoreau.blogspot.com/

Libros



M.R. Gómez Bustillo.
Mariposas de la Península Ibérica,
Vol. IV,
Heteróceros: Noctuoidea (*partim*)
280 pp., 309 fotos color y 160 grabados (Mapas distribución, genitalias, nerviación alar, etc.), ICONA, Madrid 1979.

Aunque publicado legalmente en diciembre de 1979, la distribución de este volumen se inició en enero de 1980 en Europa, estando ya casi agotada su edición de 3 000 ejemplares. El interés extraordinario de libro —dedicado al que fuera Catedrático de Entomología de la ETS de Ingenieros de Montes de Madrid, el Excmo. Dr. D. Gonzalo Ceballos y Fernández de Córdoba—, radica en que estudia desde el punto de vista zoogeográfico, filogenético, histórico, ecológico, sistemático y taxonómico, tanto en su vertiente de ciencia básica como aplicada, el grupo de mayor importancia económico-forestal del Orden Lepidoptera, es decir todas las familias de Noctuoidea excepto Noctuidae, con el énfasis en Thaumetopoeidae, Notodontidae y Lymantriidae, presentando a su vez Dilobidae y Arctiidae *sensu lato* —es decir, *sensu* Bryk—, que se ordenan por separado como Arctiidae *s.s.*, Hypsidae, Endrosidae y Nolidae.

Es tal la acumulación de datos ecológicos, técnicos y bibliográficos que el Dr. Gómez Bustillo a logrado reunir sobre estas familias, y como complemento, sobre los métodos de control de sus especies-plaga, que la obra es considerada ya por los Departamentos del Ministerio de Agricultura como la sección correspondiente a los Lepidópteros, del Tratado de Entomología Forestal que España necesitaba desde hace varias décadas.

El lector se asombrará al comprobar que este cuarto volumen ha sido publicado en un período de tiempo tan apretado como es el transcurrido entre 1974, fecha de aparición del volumen I y II y 1976, fecha de publicación del volumen III de la obra, es decir, cuatro tomos en sólo un quinquenio (1974-1979). Los dos tomos primeros, correspondientes a las Mariposas diurnas, y el tercer volumen, que inicia ya el estudio de las mariposas nocturnas o Heteróceros, esbozaron ese estilo divulgador y a la vez científico que Gómez Bustillo, primero llevando como coautor a F.F. Rubio y después ya en solitario, ha desarrollado cumplidamente en este cuarto volumen, que en su primera mitad analiza, en capítulos separados, las ocho familias noctuoideas mencionadas, y en su mitad final ordena las fichas individuales de 130 especies con sus mapas individualizados de distribución —y en casos de identificación difícil, con grabados de genitalia—, en planchas fotográficas a color, donde siempre se presentan ambos sexos y a veces numerosas formas del taxón.

Pero queremos aprovechar esta oportunidad para hacer una revisión general, no sólo de éste y de los tres volúmenes ya publicados sino del estado presente de la obra en su conjunto. En efecto, los planes actuales del autor y colaboradores contemplan una serie de catorce volúmenes, de los cuales, aparte de los cuatro primeros, otros cuatro se encuentran ya en avanzado estado de ejecución, incluyendo todas las familias de Macrolepidópteros que faltan, estando además en preparación los seis volúmenes finales, donde se incluirán todos los Microlepidópteros conocidos de la Península Ibérica, excepto los Micropterigidae, Eriocraniidae, Brachodidae y Choreutidae, que se revisarán en el tomo VIII.

El plan general de la obra es, pues, el siguiente:

— *Vols. I y II.* Hesperioidea; Lycaenoidea; Nymphaloidea y Papilionoidea (Gómez Bustillo y F.F. Rubio, 1974).

— *Vol. III.* Cossoidea; Zygaenoidea, *partim* (Zygaenidae); Bombycoidea; Noctuoidea, *partim* (Ctenuchidae), y Sphingoidea (Gómez Bustillo y F.F. Rubio, 1976).

— *Vol. IV.* Noctuoidea *partim:* (Notodontidae, Thaumetopoeidae, Dilobidae, Lymantriidae, Arctiidae, Hypsidae, Endrosidae y Nolidae) (Gómez Bustillo, 1979 (1980)).

En preparación

— *Vols. V y VI.* Noctuoidea, *partim:* (Noctuidae) (Gómez Bustillo y otros).

— *Vol. VII.* Geometroidea: (Gómez Bustillo y otros).

— *Vol. VIII.* Micropterigoidea; Eriocranioidea; Hepialoidea; Zygaenoidea, *partim:* (Heterogynidae); Sesioidea y tineoidea, *partim:* (Psychidae *s.s.*) (Gómez Bustillo y otros).

— *Vol. IX.* Nepticuloidea (Opostegidae, Nepticulidae y Tischeriidae); Incurvarioidea (Heliozelidae, Incurvariidae, Crinopterygidae y Adelidae) y Tineoidea, *partim:* (Tineidae, Ericottidae, Micropsychiniidae, Ochsenheimeridae, Lyonetiidae, Gracillariidae y Phyllocnistidae) (Gómez Bustillo y otros).

— *Vol. X.* Gelechioidea, *partim:* (Oecophoridae, Ethmiidae, Stathmopodidae, Elachistidae, Pterolonchidae, Coleophoridae y Blastobasidae) (Gómez Bustillo y otros).

— Vol. *XI.* Gelechioidea, *partim:* (Symmocidae, Holcopogonidae, Momphidae, Scythrididae, Cosmopterigidae, Gelechiidae y Lecithoceridae) (Gómez Bustillo y otros).

— Vol. *XII.* Copromorphoidea (Carposinidae, Epermeniidae y Glyphipterigidae) e Yponomeutoidea (Douglasiidae, Argyresthiidae, Yponomeutidae, Plutellidae, Acrolepiidae y Heliodinidae) (Gómez Bustillo y otros).

— *Vol. XIII.* Tortricoidea (Tortricidae y Cochylidae).

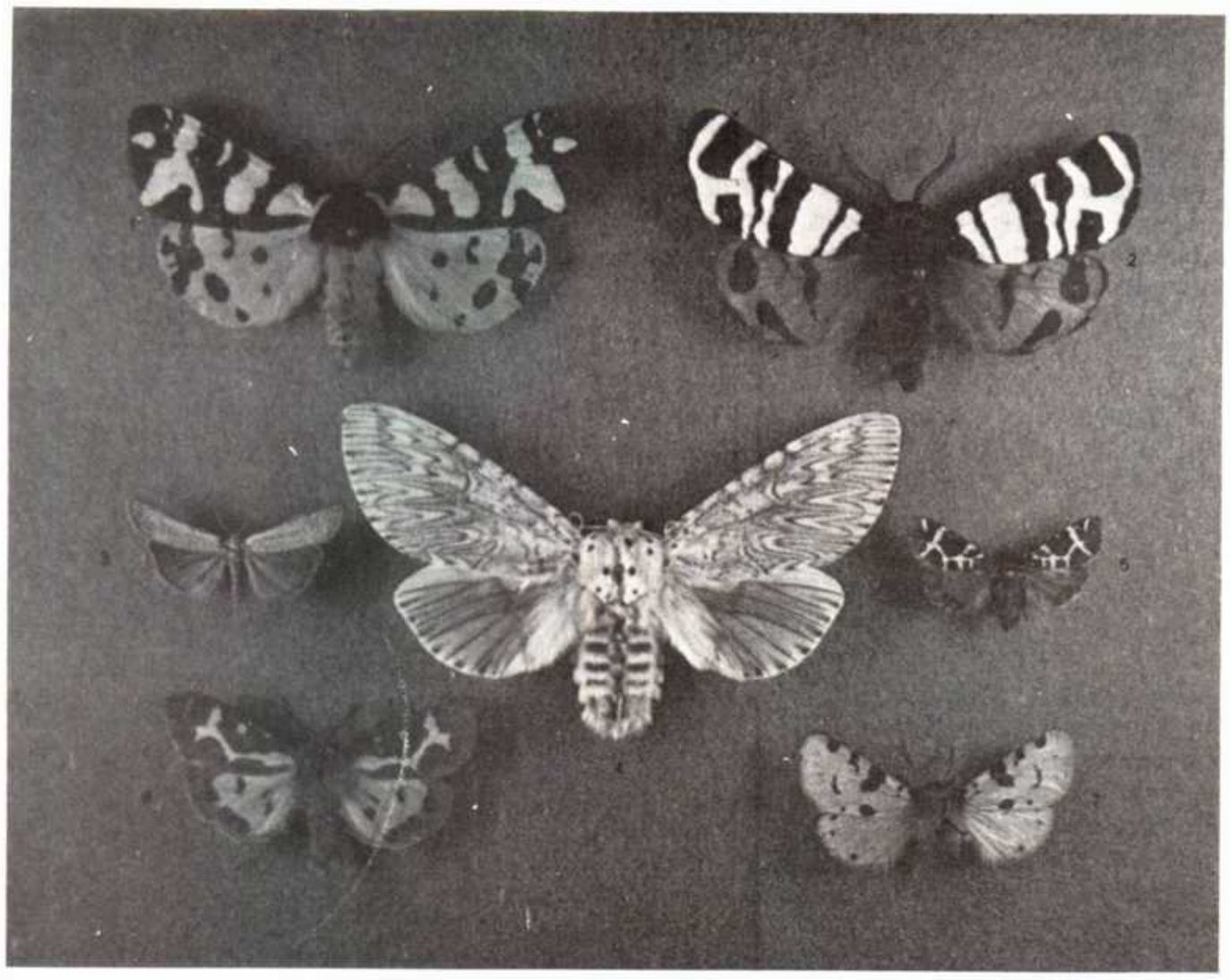
— *Vol. XIV.* Pyraloidea (Alucitidae, Acentropidae, Pyralidae, Phycitidae, Galleridae, Pyraustidae y Crambidae) y Pterophorioidea (Pterophoridae) (Gómez Bustillo y otros).

¿Cómo ha sido posible que una obra enciclopédica de esta magnitud, imposible de imaginar al comienzo de la década de los setenta, haya hecho su aparición, tomado forma y tenga ya distribuidos por el mundo cuatro volúmenes, en tan corto período de tiempo?

En 1970 publiqué el «Manual de Reconocimiento de Lepidópteros», folleto con láminas en color destinado a mis alumnos de la Escuela de Ingenieros de Montes. Exceptuando las inaccesibles obras de Seitz, Culot, Spuler, Verity y alguna otra costosa publicación con láminas en color, la determinación de especies de lepidópteros de nuestra fauna sólo podía lograrse por el aficionado o estudiante a base de algunos tomos ya publicados por Forster & Wohlfahrt, o con el Atlas editado por Boubee. Ésa fue la razón principal de mi Manual: hacer un esfuerzo editorial, en castellano, dentro de aquel desierto bibliográfico impresionante. Precisamente meses después apareció la primer gran obra inglesa dedicada a la Península Ibérica y sus Mariposas diurnas, ampliando su contenido a la Familia Zygaenidae, de la cual son autores Manley y Allcard, y al propio año comenzó a distribuirse la Guía de Campo de las Mariposas diurnas de Gran Bretaña y Europa (en inglés), de Higgins y Riley, la cual fue posteriormente traducida al español y ha tenido una amplia difusión. No creo que nos hayamos dado cuenta de lo que representan dentro de la bibliografía de autores europeos, estas «Mariposas de la Península Ibérica». Después de Seitz, de todos conocido y con cobertura mundial de Macrolepidoptera, solamente la obra de Forster & Wohlfahrt ha ido apareciendo a partir de 1954 para, en 1980 cerrar su ciclo con el quinto y último volumen, incluyendo los Macrolepidópteros de Europa Central, pero no los Microlepidópteros. A partir de 1976, Heath y otros, desde Inglaterra, han iniciado la publicación de otra obra fundamental que promete un esfuerzo editorial de once tomos, el primero y el noveno distribuidos ya, y cuya serie incluirá tanto Macro como Microlepidópteros. Ésta es, en realidad, la única otra obra en marcha conocida sobre los dos grandes grupos en que tradicionalmente se divide el Orden de los Lepidópteros.

Claro que desde 1965, se está preparando y se han publicado hasta la fecha cinco volúmenes de los «Microlepidoptera Palaearctica», de Amsel-Reisser-Gregor. Con la muerte reciente de Reisser, desde Viena ha pasado la reponsabilidad de la impresión de esta obra, en la que colaboran los especialistas más importantes del este y el oeste Europeo, a Karlsruhe, Alemania, donde el Dr. Amsel ha estudiado la situación y acaba de dar a conocer su línea de acción que contempla, con la colaboración de dibujantes y especialistas de renombre mundial, el lanzamiento de por lo menos ocho tomos más en la década que acaba de comenzar. Ninguna de estas grandes obras que acabamos de mencionar, a pesar de la perfección con que se realizan, reúne en un solo plan de trabajo Macrolepidópteros y Microlepidópteros de un país, excepto la mencionada de Heath y otros, que, repetimos, lleva ya dos volúmenes publicados dentro del plan general de nueve volúmenes más, el último dedicado al estadio larvario de los lepidópteros tratados en los nueve tomos anteriores de la obra. Recordemos que las «Mariposas de la Península Ibérica» se compondrá de catorce volúmenes en total, sobre la fauna de lepidópteros de la Península Ibérica, incluidas las Islas Baleares.

Una obra de esta categoría, en la que cola-



1. ***Arcia villica angelica*** **B; 2. *Ammobiota hebe* L; 3. *Coscinia romeii* Sag.; 4. *Cerura iberica* Templ. & Ort.; 5. *Ocnogyna latreillei* God.; 6. *Hyphoraia dejeani* God.; 7. *Ocnogyna zoraida* Grsl.**

boran todos los especialistas disponibles de España y Portugal, incluido el gran dibujante y entomólogo danés E. Traugott-Olsen, avecindado en Marbella desde hace varios años, quien ha tomado a su cargo la preparación de las acuarelas que sustituirán a las fotografías en los seis volúmenes finales; esta obra, repito, que fue y es objeto de recensiones en francés, inglés, alemán, italiano, holandés, checoslovaco, húngaro, etc., ha sido revisada en castellano solamente en dos revistas, una, inevitablemente, SHILAP, órgano de la Sociedad Hispano-Luso-Americana de Lepidopterologia, y otra «Miscelánea Zoológica», del Museo Municipal de Barcelona.

Examinando detenidamente las numerosas recensiones, por lo menos 30 conocidas, es unánime la opinión de los criticos al dejar constancia de su más absoluta admiración, reconociendo que se encuentran ante una publicación que algunos han calificado de única en su clase y hasta de «sueño» —los más exaltados—, y que otros, como Dña. Mariana de Ibarra, han denominado «la obra más importante, en lo que se refiere a Lepidoptera, de la Entomologia europea». Sin embargo, algunos de los críticos extranjeros dejan constancia de objeciones en cuanto a la calidad desigual de las más de mil fotografías a todo color que han quedado incluidas en estos cuatro volúmenes, sin comprender la causa de esta falta de homologación fotográfica, y en el caso particular de uno de los revisores, se dedica una crítica minuciosa a un porcentaje mínimo de fotografías, que considera podían haber sido mejores... Pero debe recordarse en defensa de la verdad, que como se ha dejado aclarado siempre en cada uno de los volúmenes publicados, ni Gómez Bustillo ni sus colaboradores han tenido acceso a las fichas, papeletas o tarjeteros con todas las citas de lepidópteros de España y Portugal, acumuladas durante muchos años por el personal y con cargo al presupuesto del Instituto Español de Entomología de Madrid —lo que produce a veces lagunas en alguno de los mapas de distribución incluidos en la obra y hasta signos de interrogación de un talante acusatorio—, ni tampoco a las muy importantes y numeorsas colecciones depositadas en el propio Centro del CSIC, veradero tesoro nacional, parte del patrimonio cientifico de los españoles, lo que por motivos personales que no viene al caso explicar aquí —pero que son bien conocidos, tanto en España como en el extranjero— y a pesar de los esfuerzos de Gómez Bustillo por tener acceso a las mismas, no se ha logrado. Por ello, el autor se ha visto obligado a solicitar la ayuda de colegas del resto de España y del extranjero, para obtener ejemplares o fotografías de muchas especies, que de no ser así y aún existiendo a pocos metros del autor, no hubieran podido ser presentadas gráficamente en su obra. Es muy fácil trabajar con un gran Museo como fondo (el Británico, el de París o cualquiera de los centros que abundan en Alemania, Austria, Italia, etc.), y allí seleccionar ejemplares en perfecto estado de conservación, instalarlos cuidadosamente bajo el objetivo fotográfico y captarlos.

A continuación y sin prisas de no obtenerse una fotografía de primer orden, fotografiarlos tantas veces como sea necesario, siempre con el mismo color de fondo homologado de las fotografías individuales que aparecen en cada ficha. En otras palabras: no enfrentarse a la necesidad de pedir prestados ejemplares en el estado y en que puedan recibirse, fotografiarlos y encontrarse en el momento de recibir las pruebas de imprenta, muchos meses depués, con que no es posible volverse a fotografiar las especies en cuestión, que hayan dado lugar a una fotografía con exceso de luz o defecto de enfoque, puesto que los ejemplares han sido devueltos ya a su fuente de origen, y no pueden volverse a pedir ante la premura de la edición, siempre retrasada por motivos que no vienen al caso.

En una revisión que acaba de llegar a mis manos, se acentúa este talante crítico. Y así, entre loas generales de la obra y su autor, y refiriéndose a este tomo IV, se destaca el mal efecto de una fotografía con «etiquetas atravesadas», que pudiera desmerecer del tipo de iconografía que una obra de esta categoría debe presentar... Nada menos que la crítica se centra en la plancha incluida en la página 221, ficha correspondiente a *Ocnogyna latreillei* Godart, 1822, sin sospechar el crítico en cuestión que esta fotografía puede considerarse como una reliquia histórica, pues fue tomada por la propia Dña. Mariana de Ibarra sobre material de su colección, con formas y más formas, veinte en total, recogidas en la mayoría de los casos en su estadio de oruga, a veces acompañando la entonces niña-recolectora al ilustre lepidopterólogo catalán Don Ignacio de Sagarra. Por ello, revisando alguna de estas etiquetas que se ven parcialmente entre los ejemplares fotografiados, pueden leerse lugares clásicos de captura como L'Ametlla, Seva, La Garriga, etc., donde Graells, Sagarra, Rosset, Weiss, Mariana y tantas otras generaciones catalanas han buscado la oruga de este endemismo ibérico y la han criado, como hiciera el Dr. Graells en 1834, cuando enviara al Baron de Feisthamel, entre un grupo de crisálidas de la especie, la que resultó ser la hembra, erróneamente creida áptera, que no habia podido ser encontrada por el General Dejean, teniendo Godart que describir la especie en 1882 solamente sobre machos. Para obtener una fotografía sin tales etiquetas hubiera sido necesario desplazarse al American Museum of Natural History, de Nueva York, y en su Departamento de Entomología y entre casi dos millones de ejemplares de todo el mundo fotografiar esta especie, en la Colección de Dña. Mariana, depositada en ese Centro de reputación mundial y considerada como una de las joyas del Departamento, o en palabras textuales del Dr. F.H. Rindge: «colección magnífica, con ejemplares individuales en excelentes condiciones y preciosamente preparados» (*Recent additions to the Lepidoptera collection of the American Museum of Natural History.* Journ. Lep. Soc. 21 (3): 180, 1967).

Creo que nadie mejor que el que suscribe conoce el esfuerzo creador, investigador y bibliográfico del Dr. Gómez Bustillo, quien va depositando en el Laboratorio de Entomología de la Cátedra de la Escuela de Montes los ejemplares de su colección particular que sirven de modelo a sus publicaciones, y quien ha recibido de nuestro Departamento —como lo reconoce en el epígrafe de Agradecimiento de este Vol. IV— todo el aliento que se merece en su labor.

Por las razones antes expuestas y por otras muchas que alargarían demasiado esta revisión —que con el pretexto de un tomo IV recién aparecido se ha extendido inevitablemente a la obra en su conjunto—, recomiendo encarecidamente esta obra. Todos los españoles debemos sentirnos orgullosos —como lo hace el resto de Europa— de nuestras «Mariposas de la Península Ibérica», facilitando al autor y colaboradores el examen y estudio de ejemplares de las colecciones privadas y públicas necesarias para los volúmenes en preparación, a las que a veces y por motivos subjetivos injustificables, no se les da el fin que

les corresponde, que es precisamente facilitar el uso de los datos y el examen autorizado de los ejemplares en ellas incluidos; sobre todo de los tipos taxonómicos, como regula el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica tantas veces premeditadamente ignorado entre nosotros. En fin, que de lograrse, como parece asegurada la continuidad de esta obra editorial, tendremos a lo largo de la década actual por lo menos 6 volúmenes más, y con un esfuerzo final, tal vez en 1992, se habrá terminado esta gigantesca serie sobre los lapidópteros ibéricos, con segundas ediciones intercaladas, corregidas y aumentadas, de los volúmenes que así lo requieran. Que así sea.

M.G. de Viedma.

Autores: José Maria Amigó, José Luis Briansó, Marie Claire Briansó, Ramón Coy YII y Joaquín Solans Huguet.
Cristalografia,
Editorial Rueda. 1981.

Cristalografía llega con un retraso considerable respecto a su necesidad. En el mundo industrializado estamos asistiendo a la inclusión rutinaria de las teorías y técnicas cristalográficas en el estudio de todos los materiales sólidos, y a la eclosión temática que implica la aplicación de dichas técnicas en el campo de la Biología Molecular.

En España el panorama es ambiguo, como en tantas otras cosas: por un lado la enseñanza de la Cristalografía está limitada a las Facultades de Geología, Química y, en menor medida, Farmacia. Incomprensiblemente, no está incorporada a los planes de estudio de Física y de las diversas Ingenierías que tratan de materiales sólidos: Telecomunicaciones, Metalurgia, etc. Por otro lado, la investigación cristalográfica está conociendo un notable desarrollo en nuestro país, dentro de programas multidisciplinarios que abarcan el estudio de proteínas, sustancias vegetales de interés farmacológico, productos orgánicos de síntesis reciente, materiales inorgánicos de aplicación en electrónica y catálisis, etc. Hoy en día hay en funcionamiento en España 5 difractómetros automáticos de monocristal, y se resuelven al año las estructuras cristalinas de, al menos, 100 compuestos. La pujanza de la investigación cristalográfica española se puso de manifiesto en la VI Conferencia Europea de Cristalografía celebrada el pasado Julio de 1980 en Barcelona a la que asistieron más de 600 científicos.

Como dicen los autores en el prólogo, la fuerte demanda docente de Cristalografía apenas ha tenido respuesta a nivel de producción de textos por parte de los especialistas. Sin embargo, son de destacar las obras de J.L. Amorós y J. Garrido, las cuales, en el caso del primero, incluyen una completísima historia de la Cristalografía, que con el título *La gran aventura del Cristal* propone un recorrido apasionado y reflexivo del desarrollo de esta ciencia en el marco de la historia del pensamiento científico.

Cristalografía viene a llenar un vacío en la bibliografía científica y docente española, por su calidad global y por lo que tiene de puesta al día, para el lector de lengua castellana, de varios aspectos de la ciencia cristalográfica que habían sido dejados de lado por otros autores. Nos referimos concretamente a la síntesis actualizada que presenta de las teorías y técnicas de difracción de rayos X, bien explicadas y que permiten una aproximación personal del lector a un campo de metodología compleja. El conjunto se adorna con ilustraciones y ejemplos de trabajos de autores españoles, lo cual testimonia, de alguna manera, la madurez de la cristalización en nuestro país.

En esta línea tal vez hubiera sido interesante insistir sobre la necesidad de conocer la estructura de algunos de los ejemplos mostrados, para poder describir las propiedades químicas respectivas. Igualmente se echa de menos en esta parte del texto un capítulo prospectivo sobre la metodología cristalográfica de estudio de macromoléculas de interés biológico.

Además de la descrita, el libro consta de otras dos partes: Cristalografía matemática y Cristaloquímica. La primera está bien estructurada y presenta de manera elegante, rigurosa y accesible aquel aspecto de la Cristalografía que ha sido la pesadilla de tantos estudiantes de Bachillerato y Universidad: los ejes, simetrías, proyecciones, etc. Creemos que el modo de presentación de la simetría cristalina es adecuado, especialmente para los estudiantes de Química, dado su posterior uso en Química Cuántica. Los autores han cometido un lapsus al no incluir la representación gráfica de los operadores de simetría espacial, ya que sin esta clave, difícilmente podrá el lector interpretar las figuras de las páginas 79 y 281. En este mismo sentido, tal vez se echen a faltar ejemplos prácticos de aplicación de los grupos espaciales y su representación bidimensional en la descripción de estructuras. En cualquier caso, este capítulo está bien diseñado como base para el posterior estudio de los métodos resolutivos de estructuras cristalinas.

La tercera parte del libro es la que, a juicio de este crítico, presenta más lagunas, y no tanto por su contenido, sino por sus carencias. Creemos que se extiende excesivamente en la descripción del átomo y del enlace químico, y es demasiado parca en la descripción y sistemática de estructuras cristalinas. Teniendo en cuenta el carácter general de este texto y el público al que va dirigido, lo contrario tal vez hubiera sido más lógico.

El capítulo de vibraciones en la estructura cristalina es interesante y se inserta en la estrategia del texto. Creemos que es una buena introducción a los métodos físicos de análisis de cristales, y por ello mismo echamos en falta su ampliación a técnicas ópticas de análisis distintas del efecto Raman.

Los capítulos de Soluciones Sólidas, Diagramas de fases y Polimorfismo están presentados con sencillez y rigor, aunque, desde un punto de vista pedagógico, hubiera sido necesario definir y explicar el sentido físico de las funciones de estado que se van utilizando a lo largo del texto; por ejemplo, las funciones molares parciales.

La mayor carencia de este libro es su tratamiento del cristal real. Aunque los autores excusan en el Prólogo la posibilidad de tratar todos los temas que componen la Cristalografía, creemos que la importancia creciente del estudio del cristal real justificaba ampliamente su inclusión, máxime cuando éste es uno de los campos que más transformaciones conceptuales está experimentando en la actualidad.

Los defectos cristalinos no son tratados, si exceptuamos una breve descripción de los bordes de grano. El capítulo dedicado a maclas es una buena puesta al día de este tema, ya que incluye las principales teorías que lo tratan y los avances recientes, aunque da fin con el importante tema de los agregados cristalinos, sin que hayan sido tratados fenómenos tan importantes como las epitaxias y endotaxias, puntuales en el actual desarrollo de la Ciencia de Materiales.

Mención especial merece la total ausencia en el texto de capítulos dedicados a la Génesis y Morfología Cristalina. Creemos que esta carencia debería subsanarse en vista de la utilización de este libro como referencia en los estudios de Ciencias Geológicas y la importancia que el crecimiento cristalino está tomando en campos tan diversos como la Física del Estado Sólido o la Osteogénesis.

En general y sintetizando, podemos decir que *Cristalografía* es un texto de un nivel científico más que respetable. Representa un salto cualitativo importante en la bibliografía científica española y creemos que será de gran utilidad como elemento auxiliar en la enseñanza de la Cristalografía y en el reciclaje de profesores de Enseñanza Media. La heterogeneidad del equipo redactor se manifiesta claramente en la estructuración del texto, sin menguar por ello su calidad global. Entendemos que la obligada selección de temas podría haber sido mejor, sobre todo en la tercera parte de la obra. Sin embargo, hay que decir que esa sensación de insuficiencia temática es consecuencia del deseo de ver proyectado el buen hacer de los autores en los temas que se han dejado en el tintero.

Rafael Rodríguez Clemente.

F. Freixa, P.A. Soler Insa y otros,
Toxicomanías,
Un enfoque multidisciplinario
Ed. Fontanella, Barcelona, 1981.

La adicción como problema psicológico y social rebasa ampliamente el ámbito médico y obliga a reformular la actividad profesional

del psiquiatra. El creciente número de sustancias de acción psicotropa y su progresivo consumo en grupos sociales cada vez más numerosos hace que el tema de la adicción sea considerado por psicólogos, sociólogos, políticos y estudiosos del hombre desde perspectivas muy heterogéneas. Sobre la Psiquiatría ha pesado la responsabilidad de reparar las consecuencias individuales de este problema social, lo que no resulta una novedad si se piensa que también la delincuencia y la sexualidad se han encomendado precisamente a la especialidad médica de metodología más endeble.

Tal vez por el hábito adquirido de hacer frente a problemas de implicación pluridisciplinaria, la psiquiatría se ve forzada a criticar, reformular y poner a prueba modelos y estrategias que se desmarcan de la práctica médica y de eso se habla en *Toxicomanías*. Hay que señalar este mérito porque es habitual la oscilación entre la sociogénesis teórica y ambigua, la psicogénesis cargada de prejuicios y la medicalización burda de la adicción como conducta. En *Toxicomanías* hay reflexión sociológica en torno a la contracultura, la legislación, la publicidad y la circunstancia transcultural. Hay análisis histórico y contextual del consumo de cada sustancia, preocupación por precisar las manifestaciones clínicas de los síndromes de dependencia y abstinencia y pautas terapéuticas y preventivas derivadas de la práctica cotidiana. De todo ello se extrae información e indiferencias para una organización teórica de la toxicomanía como fenómeno ecológico, pretensión empírica y pragmática que distingue a esta obra de otras disquisiciones culturales e incluso estéticas, tan sugestivas para el psiquiatra en formación y para el público culto en general.

Cabe subrayar el capítulo de F. Freixa sobre aspectos histórico-culturales y socioeconómicos, el de Soler Insa sobre el tratamiento de la heroinomanía, los de Solé Puig y Obiols Llandrich sobre contracultura y significado transcultural del consumo y el de Ll. Bach sobre la drogadicción institucionalizada. La distinción no implica menosprecio del resto del libro, preocupado en todo momento de presentar la panorámica real del consumo y de las opciones terapéuticas que se dan en nuestro país. Es interesante señalarlo cuando el monopolio estadounidense de publicaciones sobre el particular induce con frecuencia a una visión distante y descontextuada de problemas que ya están entre nosotros.

Por todo este conjunto de razones, *Toxicomanías* interesa a todos los profesionales relacionados con la salud pública y a todos los psiquiatras responsables de la ardua labor de promocionarla.

Manuel Valdés.

J.B. DAWSON,
Kimberlites and their xenoliths,
252 pp., Springer-Verlag, Berlín, 1980.

Las kimberlitas son unas rocas que contrarrestan su rareza e insignificancia volumétrica con su notable interés económico y científico; el primero, por tratarse de las únicas fuentes naturales de diamantes, y el segundo, por ser las mejores «muestradoras» de la corteza inferior y del manto superior. Cualquiera de estos hechos explica suficientemente el que a estas rocas les hayan sido dedicadas dos Conferencias Internacionales —la tercera se celebrará en 1982 en Clermont-Ferrand, Francia— y, naturalmente, el que se haya publicado la monografía que comentamos.

La obra realizada por el prof. J.B. Dawson, de la Universidad de Sheffield (Gran Bretaña) tiene una estructura «clásica», puesto que se comienza considerando los aspectos más generales, se continúa con los más particulares, y se finaliza con la discusión genética. Así, después de una introducción, en la que el autor justifica su trabajo y realiza un breve repaso histórico del estudio de las kimberlitas, las primeras consideraciones (Capítulos 2 y 3) atienden a la distribución y ambiente tectónico de las kimberlitas y a sus tipos de yacimiento. Los siguientes tres capítulos están consagrados a la petrografía, la geoquímica y la mineralogía de estas rocas, y los dos que los siguen (Capítulos 7 y 8) tratan de los xenolitos y de los megacristales que aparecen incluidos en dichas rocas. Por último, los dos últimos capítulos examinan la naturaleza de la corteza y del manto a partir de la evidencia que suministran los xenolitos kimberlíticos, y a discutir las tres hipótesis (refinado zonal, procesos residuales y fusión incipiente) apuntadas en relación con estas rocas.

Cada uno de los temas tratados ha sido abordado de forma clara, sistemática y exhaustiva. No obstante, los más sobresalientes son los relativos a la petrografía, la geoquímica y la mineralogía, que en conjunto constituyen el núcleo más importante de la obra. Aunque las kimberlitas de África, Rusia y América del Norte son las más referenciadas a todo lo largo del texto, por ser las mejor conocidas, puede decirse que en esta obra están recogidos la mayoría de los trabajos realizados sobre estas rocas y sus xenolitos. A este respecto, basta con decir que se citan y se recogen más de 600 referencias bibliográficas.

Los aspectos estéticos, como la impresión y la encuadernación son también dignos de destacar, no así el precio (88 marcos alemanes), que es muy elevado.

J. López Ruiz.

E. Cruells,
El comportamiento animal. Colección aula abierta.
Salvat. Barcelona, 1981.

He aquí un pequeño libro que corre el riesgo de pasar inadvertido por estar incluido en una extensa colección de opúsculos de divulgación sobre los más diversos temas con una calidad desigual. Aprovechando el tópico, diremos que este libro viene a llenar un hueco en la bibliografía sobre comportamiento animal en lengua castellana.

En efecto, así como se han publicado numerosas introducciones para todos los gustos, de ciencias como la Psicología, la Ecología o la Genética —por citar algunos ejemplos de especialidades relacionadas con el tema que nos ocupa— no ocurre lo mismo con la Etología. Creo que ello es una muestra de nuestro retraso en la asimilación de una ciencia que recibió el espaldarazo «oficial» en 1973 al concederse el premio Nobel de Medicina a tres notables etólogos: Lorenz, Tinbergen y Von Frisch.

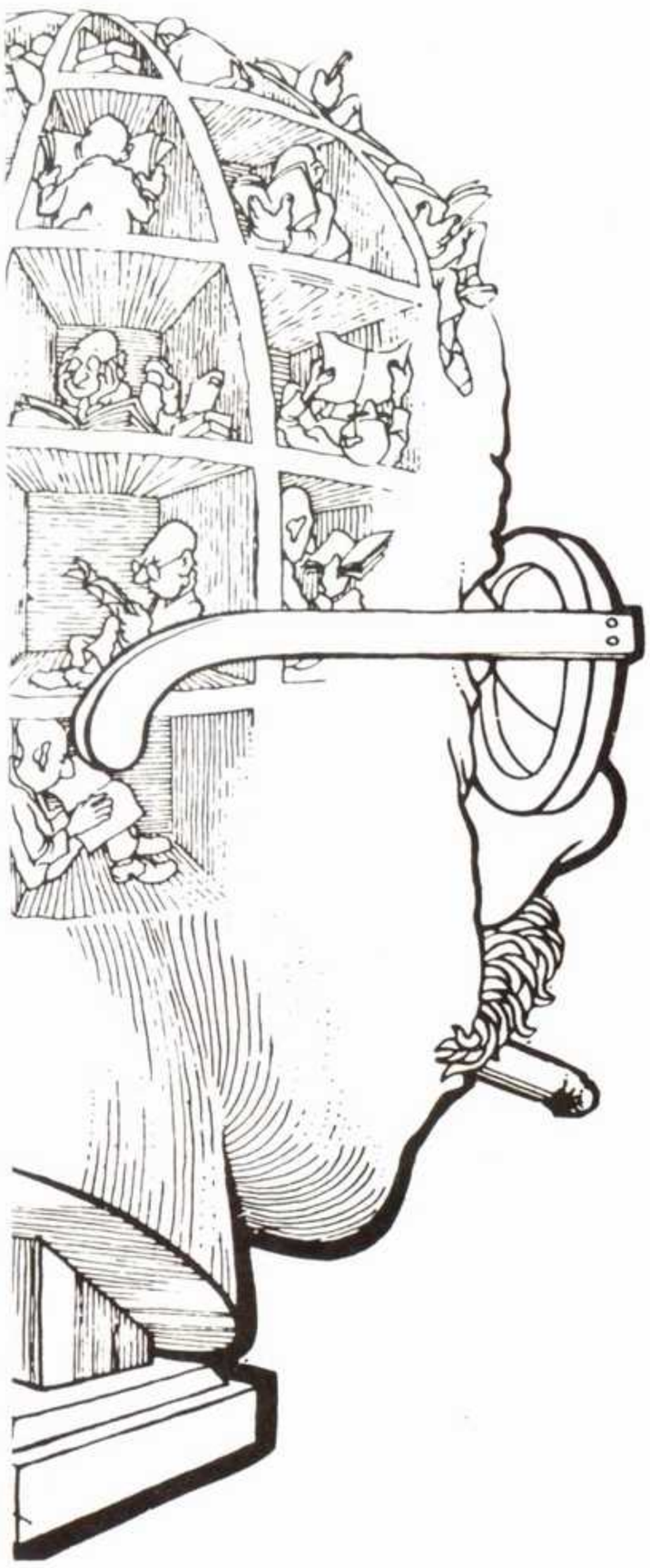
El libro que nos ocupa en una excelente introducción al tema, que en otros países estaría destinado principalmente a los estudiantes de bachillerato y cursos preuniversitarios. Dada la poca difusión que la Etología tiene tanto en nuestras facultades de Biología como en las de Psicología, puede servir perfectamente para que los estudiantes de ambas especialidades tengan un primer contacto con esta ciencia.

El concepto de instinto —tan discutido por muchos psicólogos—, la interacción herencia-medio ambiente y el comportamiento social de los animales son los principales temas tratados en el libro, redactado en un estilo claro y pedagógico. Al contrario de lo que ocurre en otras publicaciones de su estilo, la abundante ilustración ofrecida no es aquí un simple relleno más o menos bello, sino acertado complemento del texto.

José Domingo Rodríguez Teijeiro.

M. Olender (bajo la dirección de),
Pour Léon Poliakov. Le racisme: mythes et sciences,
468 pp., Éditions Complexe.

Este denso volumen se dedica a León Poliakov, historiador y analista del antisemitismo. Una treintena de autores, procedentes de la biología, la sociología, la antropología, el psicoanálisis, la historia y la filosofía, abordan el problema del racismo en sus más variados aspectos. Es imposible resumir todas estas



SUSCRIBASE a
MUNDO CIENTIFICO
LA RECHERCHE, version en castellano

Rellene y envíenos su cupón
página 114

contribuciones que, con toda seguridad, no constituyen una recopilación completa, pero permiten comprender la diversidad, la complejidad y la importancia de las prácticas y las ideologías racistas. Un libro como este no está hecho para leerlo de un tirón; y algunos estudios históricos interesarán básicamente a los especialistas. Pero numerosos lectores encontrarán informaciones útiles y análisis frecuentemente remarcables. Aunque la obra esté dirigida contra el racismo, generalmente el tono es serio y los autores (que en la mayoría de los casos son investigadores) demuestran rigor en sus argumentaciones. Aconsejable para todos aquellos que quieran informarse bien de un mal siempre amenazante.

Rauch/Volke/Paturi
Historia de la bicicleta,
240 páginas. 21 × 29 cm. Un millar de ilustraciones en negro y color. Tela.
Ediciones en castellano y catalán.
Editorial Blume - Barcelona

La imagen fascinante del padre de la bicicleta surge de la oscuridad de la historia como la de un incansable espíritu inventor. El barón von Drais, considerado loco por algunos y por otros indiscutible genio, abrió camino al transporte individual. El lector revivirá la lucha por la conquista técnica de la carretera, en una época en que la arena, barro y grava dificultaban la circulación, pero también en una época en la que los hijos de la revolución buscaban un medio de transporte barato, libre e independiente.

Los autores explican las razones por las cuales aparecieron los monstruosos y peligrosos velocípedos altos, que supusieron un rodeo en la evolución del biciclo, pero que facilitaron el camino a la bicicleta moderna. El libro describe, etapa por etapa, los descubrimientos internacionales que dieron lugar a la perfección y seguridad de la bicicleta. Aparecen ilustraciones de piezas únicas y extraños vehículos de fantasía, capaces de despertar el interés de cualquier coleccionista. Como documento inédito se presentan bicicletas militares, de circo y de salón, y se ofrece un delicioso capítulo sobre las modas y otros muchos aspectos peculiares de la bicicleta.

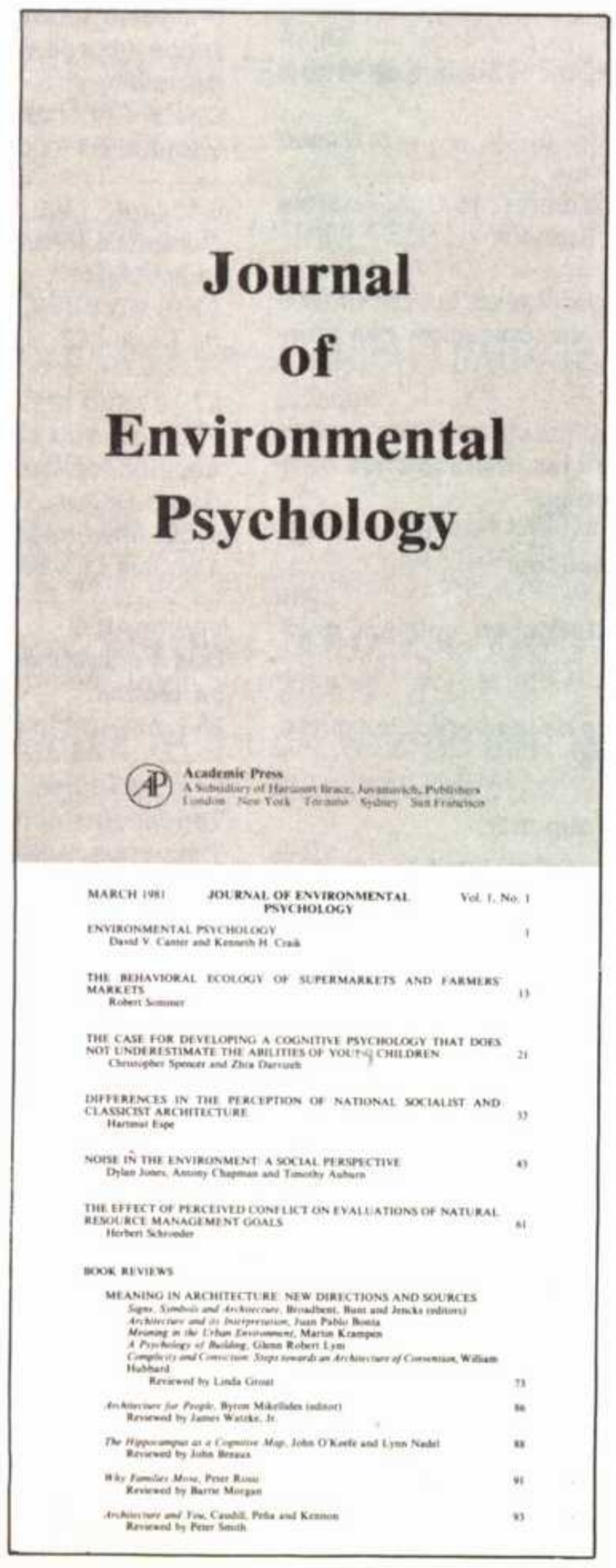
Con una precisión poco corriente se informa sobre el ciclismo, la física de la bicicleta, y el desarrollo de los neumáticos de goma. Temas como el del alumbrado o los cambios en el tipo de tracción encuentran también su lugar en el libro. Lo que hoy suponen los viajes espaciales es lo que supuso la industria de la bicicleta en el siglo pasado: una base técnica para innumerables ideas y descubrimientos que fueron modificando eficazmente la vida cotidiana hasta nuestros días. El lector descubrirá en la bicicleta otras muchas facetas que se añaden a su conocido valor deportivo, de transporte y de ejercicio, y se sentirá absorto ante un texto ameno y unas sorprendentes ilustraciones, que muestran la bicicleta a través de las épocas en viejos croquis, en diseños de patentes y, sobre todo, en auténticas obras de arte.

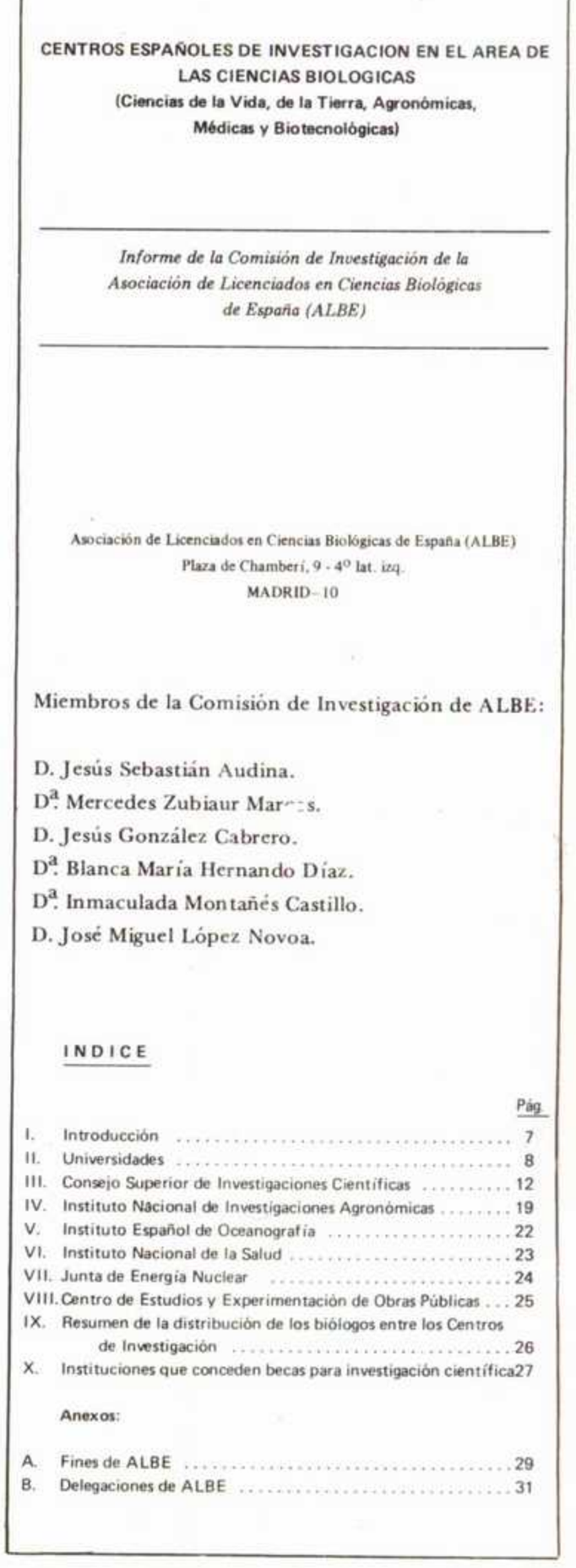
Tanto por el prestigio de sus autores —Rank, colaborador del Deutsches Museum de Munich; Volke, fundador del Historisches Velociped de Düsseldorf; y Paturi, ingeniero industrial y escritor—, como por su calidad y contenido exhaustivo, la *Historia de la bicicleta* puede ser considerada una obra excepcional.

Publicaciones recibidas

■ *El comportamiento animal,* 64 pp., E. Cruells Monllor, Col. Aula Abierta Salvat, Ed. Salvat Editores, S.A., Barcelona, 1981.
■ *Manual completo de Taxidermia para el aficionado y el profesional,* 205 pp., A. Pérez, Ed. de Vecchi, Barcelona, 1981.
■ *Antropología de Cataluña en el II milenio a.C.,* 303 pp., D. Turbón, Ed. Universidad de Barcelona, 1981.
■ *160 razas de Perros,* 398 pp., F. Fiorone, Ed. de Vecchi, Barcelona, 1981.
■ *Mundo Electrónico,* 410 pp., n.º 111, Boixareu Editores, S.A., Barcelona, octubre, 1981.
■ *O.C.D.E.,* volume I, n.º 6, Ed. Organisation de Coopération et de Développement Économiques, Paris, 1981.
■ *The use and abuse of biology,* 120 pp., M. Sahlins, Ed. Tavistock Publications, Great Britain, 1977.
■ *Butterworths Technical and Scientific Checkbooks,* 16 pp., 1981/2, United Kingdom.
■ *Documenta technica,* 39 pp., Ed. Georg Olms Verlag, West-Deutschland/U.S.A.
■ *HMSO BOOKS, Energy, Industry and Trade,* Ed. Gobernement Publications, 71 pp., London.
■ *Information Technology,* Cabinet Office, Advisory Council Applied Research and Development, 56 pp., september, 1980.

■ *Mientras tanto,* apartado de Correos 30059 - Barcelona.
■ *Microprocessors in industry,* 18 pp., Ed. Gobernement Bookshops, Great Britain, 1981.
■ *HMSO BOOKS, Department of Education and Science,* Ed. Governement Publications, n.º 2, 18 pp., Great Britain, January 1981.
■ *Jounal of Institute of Biology,* 120 pp., Biologist, vol. 28, n.º 2, abril, 1981.
■ *Jounal of the Institute of Biology,* 120 pp., Biologist, vol. 28, n.º 4, september 1981.
■ *Ejercicios de Bioestadística,* C.M. Cuadras y otros., 2.ª edición, Ed. Universitaria de Barcelona, Barcelona, 1980.
■ *Fundamentos de Probabilidad en Bioestadística,* G. Alonso, J. Ocaña y C.M. Cuadras, 423 pp., Laboratorio de Cálculo, Ed. Universidad de Barcelona, n.º 16, Barcelona, junio, 1976.
■ *Teoría Metafísica del Estado,* 197 pp., L.T. Hobhause, Ed. Aguilar, Madrid, 1981.
■ *Diccionario de Radio y Televisión,* 375 pp., M. Cebrián, Ed. Alhambra, Madrid, 1981.
■ *Ecología y Paisaje,* F. González Bernáldez, 249 pp., Ed. H. Blume Ediciones, Col. Ciencias de la Naturaleza, Madrid, 1981.
■ *Publications catalogue 1981,* Unesco, 239 pp., Ed. Unesco, París, 1981.
■ *Diccionario Técnico Marítimo,* Luis Suárez Gil, inglés-español, español-inglés, 698 pp., Ed. Alhambra, S.A. Madrid, 1981.
■ *Vida, obra y viajes de un hombre universal,* D. Botting, Humboldt y el cosmos (1796-1859), 264 pp., Ediciones del Serbal, Barcelona, 1981.
■ *Terremotos,* Bruce A. Bolt, 266 pp., Ed. Reverté, S.A., Barcelona, 1981.
■ *Mamíferos, manual de Teriología,* Kazimierz Kowalski, 532 pp., Ed. H. Blume Ediciones, Mardrid, 1981.
■ *Vieraea, folia scientiarum biologicarum canariensium,* 235 pp., volumen (10) 1-2, Ed. Vieraea, Santa Cruz de Tenerife, 1980.
■ *Manual de Prevenció i Control de la Tuberculosi,* 82 pp., Generalitat de Catalunya, Departament de Sanitat i Seguretat Social, Publicat per la Secretaria General Tècnica del Departament de Sanitat i Seguretat Social, Barcelona, 1981.





Manifestaciones científicas

Enero 1982 — Font-Romeu (Francia)
Escuela de invierno de los polímeros electroactivos.
P. Bernier, Lab. de minéralogie - cristallographie, USTL, 2 Place Eugène Bataillon, 34060 Montpellier Cedex, Francia.

11-12 enero 1982 — Burdeos (Francia)
Tribuna de espectrometrías infrarroja y Raman.
M. Rey, Lab. de spectroscopie infrarouge, 251 cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, Francia.

8-12 febrero 1982 — Palmerston North (Nueva Zelanda)
8º Congreso internacional «Sociedad para la micología humana y animal».
Unesco, conférences et réunions, Place Fontenoy, 75007 Paris, Francia.

8-16 febrero 1982 — Nueva Delhi (India)
12º Congreso internacional: **«Administración de los recursos del suelo para enfrentarse al desafío a la humanidad».**
Unesco, conférences et réunions, Place Fontenoy, 75007 Paris, Francia.

8-12 marzo 1982 — Toulouse (Francia)
Jornadas de estudio sobre la aplicación de los microprocesadores y microordenadores en medicina.
Assotiation pour l'information, la recherche en informatique, B.P. nº 14, 78650 Beynes, Francia.

17-19 marzo 1982 — París (Francia)
9ª Reunión anual de las ciencias de la tierra: los cortes en ciencias de la tierra.
Chantal Odin, Lab. de paléontologie des algues et invertébrés, Université P. et M. Curie, tour 25, 3e étage, 4 Place Jussieu, 75230 Paris Cedex 05, Francia.

17-19 febrero 1982 — Grenoble (Francia)
3as jornadas de microinformática (automática y de gestión).
A. Long, Cuefa, domaine univ. de Grenoble, Saint Martin d'Hères, BP 53 X, 38041 Grenoble Cedex.

17-18 marzo — París (Francia)
Coloquio internacional «Investigadores y jefes de empresa, ¿cómo mejorar conjuntamente?».
Asociación de antiguos alumnos ENSCP, 28 rue Saint Dominique, 75007 París.

18-26 marzo 1982 — Pekin (China)
Simposio y exposición internacionales sobre el petróleo.
SPE, 6200 North Central Expressway, Dallas, Texas 75206, EE.UU.

22-25 marzo 1982 — Manchester (U.K.)
2ª conferencia general de la sociedad europea de física sobre la materia condensada.
The meetings officer, the Institute of physics, 47 Belgrave Square, London SW1X8QX, U.K.

23-27 marzo 1982 — Brighton (Gran Bretaña)
Simposio internacional sobre el uso seguro de disolventes.
Unesco, conférences et réunions, Place Fontenoy, 75007 Paris, Francia.

30 marzo - 2 abril 1982 — Bradford (Gran Bretaña)
Simposio de arqueometría de 1982.
A. Aspinall o S. Warren, University of Bradford, Bradford BD7 1DP, G.B.

25-27 marzo 1982 — Valencia (España)
Symposium Internacional sobre neurociencia.
Dr. C. Guerri, Instituto de investigaciones citológicas de la Caja de Ahorros de Valencia, Amadeo de Saboya 4, Valencia 10, España.

1-6 abril 1982 — Lausana (Suiza)
Congreso internacional «El cerebro en la salud y en la enfermedad».
Unesco, conférences et réunions, Place Fontenoy, 75007 Paris, Francia.

13-16 abril 1982 — Madrid (España)
1er symposium internacional «Crystal growth processes in sedimentary environments».
C.R. Rodríguez Clemente, Inst. de Geología, Consejo superior de Investigaciones científicas, c/. José Gutiérrez Abascal, 2 - Madrid-6. (España).

Lista parcial de los coloquios internacionales del CNRS para 1982.

Mayo — Dijon
Modalidades, ritmos y mecanismos de la evolución.
Mayo — Marsella
La bacteriología marina.
CNRS, Relations extérieures, 15 Quai Anatole France, 75007 Paris, Francia.
Mayo-junio — Aussois
Física atómica y molecular en las proximidades de los umbrales de ionización con campos fuertes.
Junio — Aussois
Conjugación de fase. Inestabilidades y comportamiento crítico en las interacciones no lineales de ondas ópticas.
Verano 1982 — Estrasburgo
Los ligantes macrocíclicos.
Julio 1982 — Lyon
Los reactivos soportados en química orgánica.
19-21 julio — París
La historia de la física de las partículas durante el período 1930-1960.
Septiembre — Clermont-Ferrand
Dinámica del manto superior.
6-18 septiembre — Lyon
Estudio de las interacciones metal-soporte en la catálisis heterogénea.
Diciembre — La Martinica
Física y química de los metales sintéticos y orgánicos.

3-5 mayo 1982 — París (Francia)
Conferencia IEEE internacional «Acústica, palabra y proceso de señal».
M. Bellanger, TRT, 5, av. Réamur, 92350 Plessis-Robinson, Francia.

3-5 mayo 1982 — París (Francia)
Conferencia internacional sobre los resultados de los sistemas de transmisión de datos y sus aplicaciones.
INRIA, Servicio de las relaciones exteriores, Domaine de Voluceau, BP 105, 78153 Le Chesnay Cedex.

9-15 mayo 1982 — Grenoble (Francia)
XIXª semana de estudio de química orgánica.
Claude Dupuy, UER Chimie, USMG, BP 53 X, 38041 Grenoble Cedex.

12-14 mayo 1982 — Londres (U.K.)
4º congreso internacional sobre el hierro y el acero «Continuous castings».
Conf. Department (IISC), The metals society, 1 Carlton House France, London SW 1Y 5DB, U.K.

20 mayo - 1 junio — Erice (Sicilia)
Escuela internacional de cosmología y gravitación.
Pr. V. de Sabbata, Instituto di fisica dell'università, Via Irnerio 46, Bologna, Italia.

25-27 mayo 1982 — París (Francia)
12º Simposio internacional sobre las lógicas multivaluadas.
M. Israel, IIE-CNAM, 292, rue St. Martin, 75141 Paris Cedex 03, Francia.

2-4 junio 1982 — París (Francia)
Conferencia internacional del caucho 82.
Soc. de química industrial, 28, rue Saint-Dominique, 75007 París.

8-11 junio 1982 — Toulouse (Francia)
Simposio internacional «Los materiales utilizados a bordo de los satélites y las sondas espaciales».
CNES, Dept. des affaires universitaires, 18 av. Edouard Belin, 31055 Toulouse Cedex, Francia.

9-11 junio 1982 — París (Francia)
Congreso internacional sobre los autómatas industriales.
AFRI c/o SEPIC, 40, rue du Colisée, 75381 Paris Cedex 08, Francia.

17-19 junio 1982 — Burdeos (Francia)
6º encuentro nacional sobre los temas «Concepción, realización, imagen-sonido».
Serge Senon, Centro de microscopía electrónica, universidad de Burdeos II, Xona Norte, 146, rue Léo Saignat, 33076 Burdeos Cedex.

Verano 1982 — Les Houches (Francia)
Dos sesiones de la escuela de verano de física teórica:
28 junio - 29 julio

2 agosto-10 septiembre
Tendencias actuales en física atómica.
Progresos recientes en teoría de campos.
Ecole d'été de physique, Côte des Chavants, 74310 Les Houches, Francia.

28 junio - 3 julio 1982 — Las Palmas (Canarias)
Segunda conferencia mundial de matemáticas al servicio del hombre.
SWC M., Ultramar Express, S.A., Diputación 238, Barcelona-7, España.

15-21 agosto — Perth (Australia)
12º Congreso internacional de bioquímica.
Prof. W.J. Whelan, P.O. Box 016129, Miami, Florida 33101, EE.UU.

30 agosto - 3 septiembre — Toulouse (Francia)
5º Simposio de estadística informatizada.
Compstat 82, Lab. de statistique et probabilités, Unic. Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex, Francia.

MUNDO CIENTIFICO
LA RECHERCHE, versión en castellano N.º 10

4 **THE BICYCLE,** by Jean-Pierre Vieren.
This marvelous machine, conceived empirically in great part, poses more than a challenge to researchers. Despite numerous experiments (and despite resorting to computers), it is not yet completely understood how the bicycle functions.

15 **STARS WHICH SHOULD NOT EXIST,** by James Lequeux.
How do astronomers explain the observation of massive, very bright stars which, according to the classic theory, should not exist?

20 **SUPERMOLECULAR CHEMISTRY,** by Jean-Marie Lehn.
A chemical compound is traditionally composed by putting together atoms to form molecules. In supermolecular chemistry, new products — supermolecules — are created by assembling molecules instead of atoms. How are these molecular compounds made and what are they used for?

32 **THE CERN AND ITS RELATIONS WITH SPAIN,** by Pedro Pascual.
Origins and activities of the CERN. Is it in Spain's interest to join de CERN again? Would the costs that this implies be justified?

38 **DIODE LASERS,** by Jean-Pierre Noblanc.
Lasers using semiconductors are no longer laboratory curiosities. Their prospective applications to the treatment of optical and electrical signals are considerable.

47 **ARE THERE SEXUAL DIFFERENCES IN THE BRAIN?,** by Marie-Claire Levasseur and Catherine Allais.
Detailed study of hormonal actions shows that the feminization of the brain is not a irreversible as one would like to think.

52 **THE CHROMOSOMES OF PRIMATES,** by Bernard Dutrillaux.
Understanding the evolution of chromosomes for all the primates now enables us to reconstruct the genealogical tree of man's most distant ancestors.

64 **DOSSIER: NUCLEAR ENERGY WHICH LEADS TO THE NUCLEAR BOMB,** by Martine Barrère.
«Peaceful» nuclear installations exist all over the world. From peaceful to military there is just one step... which many countries are ready to take.

77 **AUTOMOBILES: THE RACE FOR GAS ECONOMY,** by Marie Bulher.
In two new prototypes pleasantly named EVE and VERA, Renault and Peugeot have succeeded in reducing gas consumption by more than 25 %. When will these economical cars be mass produced?

84 **VOYAGER 2 ENCOUNTERS SATURN,** by André Brahic.
This third exploration of Saturn continues to surprise us with unexpected results.

88 **VIDEOTEX: IMAGES THROUGH THE TELEPHONE,** by Alain Poignet.
Transmission of texts and drawings through the telephone network is the object of many technical, industrial, and even cultural ventures.

91 **MICROELECTRONICS FOR THE 21 ST CENTURY: BIOTRANSISTORS,** by Joël de Rosnay.
The introduction of molecular materials to microelectronics should enable a hyperminiaturization of circuits not achievable with the customary crystals.

94 **THE PHYSIOLOGY OF DIVING,** by Maurice Hugon.
Nowadays, humans can work without difficulty at depths up to 300, and even 400 meters. Will current research enable divers to overcome the biological problems that occur beyond those depths?

LOS FOSILES
Mark Lambert

Un libro que con sencillez y rigor científico informa detalladamente acerca de la evolución geológica y de la vida orgánica en nuestro planeta Tierra, desde los primeros indicios, como las algas azules, hasta la aparición del hombre.
Completan esta guía un extenso apartado dedicado a los métodos e instrumentos de recolección de los fósiles, a las más recientes técnicas de datación y una guía metodológica para su rigurosa clasificación.

Formato: 13,5 × 20 cm
Páginas: 128 en cartoné
Fotografías e ilustraciones a todo color
P.V.P.: 725 pts.

Pidalo a su librero o contrarreembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.

**VALENCIA, 359 · 6.º 1.ª
BARCELONA-9 (ESPAÑA)**

BOLETÍN DE SUSCRIPCIÓN

Copie o recorte este cupón y envíelo a:
EDITORIAL FONTALBA, S.A.
Valencia, 359, 6.º - Barcelona-9 (España)

Señores: Deseo suscribirme a la revista **MUNDO CIENTÍFICO,** de periodicidad mensual, al precio de oferta de **3.000 pts.** ~~(3.300~~ pts. precio-número), por el período de un año (11 números) y renovaciones hasta nuevo aviso, cuyo pago efectuaré mediante:

☐ Domiciliación bancaria

☐ Envío talón bancario por 3.000 pts.

A partir del n.º .....

Nombre _____

Apellidos _____

Profesión _____

Domicilio _____

Población _____ Dist. Postal _____

Provincia _____ Tel. _____

País _____ Fecha _____

Firma,

Para el extranjero, enviar adjunto un cheque en dólares:

	Ordinario	Avión
Europa	45 $	50 $
América	50 $	60 $

(Se recomienda para América el envío aéreo).

DOMICILIACIÓN BANCARIA

Lugar y fecha: _____ _____

_____
(Banco o Caja de Ahorros)

_____ D.P._____
(Domicilio completo de la entidad bancaria)

_____
(N.º de la agencia) (N.º c/c o libreta de ahorro)

Muy Sres. míos:
Ruego a Vds. que, hasta nuevo aviso, abonen a EDITORIAL FONTALBA, S.A., Valencia, 359, 6.º, 1.ª - Barcelona-9 (España), con cargo a mi c/c o libreta de ahorros mencionada, los recibos correspondientes a la suscripción o renovación a la revista **MUNDO CIENTÍFICO.**
Atentamente le saluda:

Fecha _____ Firma,

Titular _____

Domicilio _____

Población _____

_____

NÚMEROS ATRASADOS

Sírvanse enviarme los siguientes números: .....

forma de pago: ☐ talón adjunto (300 ptas. ejemplar)
☐ contrarrembolso (300 ptas. ejemplar más 50 ptas. por gastos de envío expedición)

Nombre: .....

Domicilio: .....

Población ..... D.P. .....

Provincia .....

I-1982

LA RECHERCHE

COMITÉ CIENTÍFICO
Pierre Gilles de Gennes
Xavier Le Pichon
Maurice Lévy
François Morel
Guy Ourisson
Charles Thibault

DIRECTOR
Claude Cherki

JEFES DE SECCIÓN
Catherine Allais,
Martine Barrère,
Marcel Blanc,
Jean-Claude Hazera,
Patricia Pineau,
Pierre Thuillier.

MUNDO CIENTIFICO

DE EDITORIAL FONTALBA

DIRECTOR
José Gili Casals

DIRECTOR CIENTÍFICO
Jaume Josa i Llorca

REDACCIÓN
Ricard Martí
Pilar Merino
María Torres

PRODUCCIÓN
Joan Oró

PROMOCIÓN EXTERIOR
Adelita Doménech

Han colaborado en el presente número

ASESORAMIENTO Y TRADUCCIÓN:
La bicicleta; ¿Tiene «sexo» el sistema nervioso?: *Albert Masó*
Las estrellas de gran masa: *Amadeu Montoto*
La química supramolecular: *Antonia M.ª Vidal*
Los cromosomas de los primates: *Montserrat García*
La energía nuclear, también un paso hacia la bomba: *Jaume Serrasolssas*
Automóviles: carrera para economizar gasolina: *José Alonso*
El encuentro del Vogayer 2 con Saturno: *Jordi Isern*
La fisiología de la inmersión: *Jaume Fernández*
Los láseres de semiconductores; El videotex; Los biotransistores: *Teresa Mestre*

CRÍTICA DE LIBROS:
Mariposas de la península ibérica: *M.G. de Viedma*
Cristalografía: *Rafael Rodríguez Clemente*
Toxicomanías: *Manuel Valdés*
Kimberlites and Their Xenoliths: *J. López Ruiz*
El comportamiento animal: *José Domingo Rodríguez*

EDITA
EDITORIAL FONTALBA, S.A.
Valencia, 359 - 6.º
Barcelona-9 (España)
Tels. (93) 258 55 07/08
Télex 97835 FON E

Distribución para España: **Marco Ibérica, S.A.** / Exclusiva de Publicidad: **Promedia, S.A.** Av. Príncipe de Asturias, 8 - Entlo., 1.ª - Barcelona-12 - Tels. (93) 218 42 55 - 218 41 71 - **Exmecosa:** Claudio Coello, 20 - Madrid-1 - Tels. (91) 226 89 23 - 276 81 12 / Fotocomposición: **Grafitex** (Barcelona) / Impresión: **Cayfosa** - Sta. Perpetua de Mogoda (Barcelona) España / ISSN 0211-3058 / Depósito Legal: B. 10.896-1981 / © Société des Editions Scientifiques. 1981 / © Para la lengua española Editorial Fontalba, S.A. 1981 / Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización de los editores.

La revista científica de ámbito internacional

Artículos principales del próximo número:

Los hijos del cubo, por André Déledicq

El desarrollo de la visión, por Jane E. Gwiazda, Elien E. Birch y Richard Held

La hibernación, por Roland C. Aloia

Ecología de los embalses, por Joan Armengol

Las crisis climáticas, por Pierre Rognon

La observación de la Tierra por radar, por Charles Elachi y André Fontanel

¿Es posible evaluar la investigación pura?, por John Irvin y Ben R. Martin

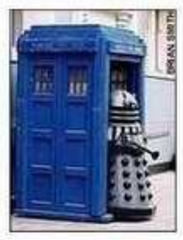
El despuntar de las aleaciones de polímeros, por Claudine Williams

Y las secciones habituales:

Manifestaciones científicas
Informaciones y noticias
Ciencia y política
Libros
Publicaciones recibidas

ESPACIO DE PUBLICIDAD

EX LIBRIS Scan Digit



The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

https://labibliotecadeldrmoreau.blogspot.com/